



RESISTÊNCIA AO FOGO DE ALVENARIAS SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

FILIPA SOFIA NUNES OLIVEIRA

Julho de 2014

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

RESISTÊNCIA AO FOGO DE ALVENARIAS SEM
FUNÇÃO ESTRUTURAL

Filipa Sofia Nunes Oliveira

Orientador: Eng.º José Manuel Sousa

Julho 2014

Agradecimentos

Deixo aqui o meu agradecimento a todos aqueles que me ajudaram na realização desta dissertação.

Em primeiro lugar, agradeço ao Eng.º José Manuel Sousa, pela sua disponibilidade, orientação, partilha de conhecimentos e exigência ao longo desta dissertação.

Aos meus pais e irmãos pelas oportunidades e apoio que me deram ao longo de todo o meu percurso académico e de vida.

Ao Emanuel Sousa, pela sua amizade, companheirismo, motivação e tempo disponibilizado, sem a sua ajuda, a elaboração deste trabalho teria sido bem mais difícil, o meu muito obrigado.

Palavra-chave

Resistência ao fogo, alvenaria sem função estrutural, blocos cerâmicos, blocos betão, blocos betão leve, parede gesso cartonado.

Resumo

Um incêndio é algo difícil de prever, assim como a sua consequência nos elementos de construção. Dessa forma, ao longo das últimas décadas, os elementos de construção têm sido alvo de diversos estudos a fim de avaliar os seus comportamentos quando solicitados em situação de incêndio.

O International Building Code (IBC) descreve um método de cálculo analítico para a determinação da resistência ao fogo dos elementos da construção de acordo com os procedimentos de teste estabelecidos na ASTM E119 (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials).

Nesta dissertação foi feita uma análise desse método, que se mostrou inadequado para estimar a resistência ao fogo das alvenarias, sem função estrutural, de blocos cerâmicos e blocos de betão, uma vez que despreza qualquer efeito do ar no interior das mesmas.

No seguimento desta análise, é apresentado um desenvolvimento do método descrito tendo em conta o efeito do ar. Depois de uma análise aos vários tipos de blocos cerâmicos e de betão com diferentes dimensões e geometrias foi possível obter uma relação entre a espessura equivalente de ar existente num bloco e a sua respectiva resistência ao fogo, de modo a serem obtidos os valores descritos na normalização existente.

O efeito do ar mostrou ter uma maior influência na resistência ao fogo nas alvenarias constituídas por blocos cerâmicos de furação vertical, já que a sua geometria caracterizada por um elevado número de pequenos alvéolos contribui para o aumento do isolamento térmico, e consequentemente da sua resistência ao fogo. Nas alvenarias rebocadas os valores da resistência ao fogo aumentam cerca de 50%, quando revestidos com argamassa de cimento, e 70% quando revestidos com gesso, logo, o emprego de revestimentos representam uma boa alternativa para aumentar a resistência ao fogo.

Keywords

Fire resistance, not *resistant masonry, clay blocks, concrete blocks lightweight concrete blocks*, sypsum wallboard, plasterboard wall

Abstract

A fire is something hard to predict, and its consequences in the construction elements as well. Regarding this, in the last decades the construction elements have been target of many researches to evaluate its behaviors when they are needed in a fire situation.

The International Building Code (IBC) defines an analytic calculation method to find the resistance of the construction elements to the fire following the test procedure established by the ASTM E119 (Standard Test Methods for Fire Testes of Building Constructions and Materials)

In this dissertation was made an analysis of that method and it turned to be inadequate for the fire resistance calculation of the construction elements without structural functions, the clay blocks and the concrete blocks, since it despise the proprieties of the air inside of them.

In the following of this analysis I presented a developed method bearing in mind the air effect. After a study of many sorts of clay and concrete blocks with diverse dimensions and geometries it was possible to find a relation between the equivalent thicknesses of the air in a block and its resistance to the fire, to obtain the values described in the existent normalization.

The effect of the air revealed to have a great influence in the fire resistance of the walls composed by clay blocks with vertical opens, the geometry of them it's characterized by its high number of small holes, which contributes to an increasing of the thermic isolation and its fire resistance as well. In the coated walls the values the fire resistance increases 50% when the coating is made with mortar of cement and 70% when coated with gypsum, so the applying of the coatings it's a good alternative to increase the fire resistance.

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Símbolos e Abreviaturas.....	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Gerais.....	1
1.1.1. Motivação	2
1.1.2. Objectivo	2
1.1.3. Estrutura	3
2. CONCEITOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	5
2.1. Fenómeno do Fogo.....	7
2.2. Representação Gráfica do Fogo.....	8
2.3. Tipos de combustão	10
2.4. Mecanismos de Ignição dos materiais combustíveis	12
2.4.1. Combustíveis sólidos	12
2.4.2. Combustíveis líquidos	13
2.4.3. Combustível gasoso.....	14

2.5.	Produtos resultantes de uma combustão	14
2.6.	Propagação do calor.....	16
2.7.	Fases de um incêndio	18
2.8.	Curvas de incêndio nominais.....	20
2.8.1.	Curva de incêndio padrão ISO 834.....	21
2.8.2.	Curva de incêndio para elementos exteriores.....	22
2.8.3.	Curva de incêndio de hidrocarbonetos.....	22
2.8.4.	Curva de incêndio ASTM E119.....	23
2.9.	Modelos de incêndio natural.....	24
2.9.1.	Modelos de incêndio simplificado	26
2.9.1.1.	Incêndios Localizados.....	26
2.9.1.1.1.	Modelo HESKESTAD, Anexo C da EN 1991-1-2.....	27
2.9.1.1.2.	Modelo HASEMI, Anexo C da EN 1991-1-2.....	29
2.9.1.2.	Incêndio Desenvolvido.....	30
2.9.1.2.1.	Curvas paramétricas	30
2.9.1.2.2.	Fogos Móveis	31
2.9.2.	Modelos de incêndio avançados.....	34
2.9.2.1.	Modelo de uma zona	34
2.9.2.2.	Modelo de duas zonas	35
2.10.	Comportamento ao fogo dos elementos de construção	36
2.10.1.	Reacção ao fogo	37

2.10.2.	Resistência ao fogo.....	40
3.	ENQUADRAMENTO LEGAL	45
3.1.	Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios – DL n.º 220/2008	45
3.1.1.	Utilização Tipo	45
3.1.2.	Locais de Risco	48
3.1.3.	Categorias e Factores de Risco.....	50
3.1.4.	Classificação de risco.....	51
3.1.5.	Anexos do DL n.º 220/2008	52
3.2.	Regulamento Técnico Segurança Contra Incêndios em Edifícios – Portaria n.º 1532/2008.....	52
3.3.	Normalização Europeia	54
3.3.1.	Classificação segundo os ensaios de resistência ao fogo excluindo as instalações de ventilação (EN13501-2).....	56
3.3.2.	Ensaio de resistência ao fogo – Requisitos gerais (EN1363-1).....	57
3.4.	Eurocódigo EN 1996-1-2:2005 - Design of masonry structures	60
4.	CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO FOGO PELA ASTM E119	63
4.1.	Método de Cálculo da Resistência ao fogo de Alvenarias	63
4.1.1.	Espessura Equivalente	63
4.1.2.	Espessura equivalente mínima.....	66
4.1.3.	Cálculo da resistência ao fogo	69
4.1.3.1.	Paredes compostas por uma única camada.....	69

4.1.3.2. Paredes composta por várias camadas.....	69
4.2. Considerações não referidas no método de cálculo analítico de resistência ao fogo descrito anteriormente	70
4.3. Resistência ao fogo das alvenarias sem função estrutural	75
4.3.1. Alvenaria de tijolo cerâmico.....	77
4.3.2. Alvenarias com blocos de betão.....	86
4.3.3. Alvenarias de blocos de betão leve	90
4.3.4. Paredes Leves	94
4.4. Influência dos revestimentos usados na resistência ao fogo.....	100
4.4.1. Revestimento de argamassa de cimento	100
4.4.2. Revestimento a gesso	104
5. CONCLUSÕES	109
ANEXOS.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

Índice de Figuras

Figura 1 - Incêndios de acordo com o tipo de ocupação dos edifícios [53]	6
Figura 2 - Distribuição dos incêndios de acordo com a causa [53].....	7
Figura 3 - Triângulo Do Fogo [16]	8
Figura 4 – Tetraedro do Fogo [16]	9
Figura 5 - Mecanismo de ignição de combustíveis sólidos [11]	12
Figura 6 - Mecanismo de ignição de combustíveis líquidos [11].....	13
Figura 7 - Mecanismo de ignição de combustíveis gasosos [11]	14
Figura 8 - Transmissão de energia por Condução [10]	16
Figura 9 - Transmissão de energia por Radiação [10]	16
Figura 10 - Transmissão de energia por Convecção [10]	17
Figura 11 - Mecanismos de transmissão de energia [16].....	17
Figura 12 – Curva das fases de desenvolvimento de um incêndio [8]	19
Figura 13 - Curvas nominais temperatura – tempo, definidas no Eurocódigo 1 e ASTM E119 [50].....	23
Figura 14 – Representação da curva de incêndio nominal padrão e natural [22].....	25
Figura 15 – Representação gráfica do método HESKESTAD [10]	28
Figura 16 – Exemplo de uma curva de incêndio obtida pelo programa Elefir-EN [10]	28
Figura 17 - Representação gráfica do método HASEMI [10].....	29
Figura 18 - Exemplo de uma curva de incêndio obtida pelo programa Elefir-EN [10]	29
Figura 19 - Exemplo de curvas paramétricas com vários factores de abertura [10]	31
Figura 20 - Ilustração da zona próxima das chamas (<i>near field</i>) e da zona distante das chamas (<i>far field</i>) de um fogo móvel [10].....	33
Figura 21 – Exemplo de um compartimento num modelo de duas zonas [10]	35
Figura 22 - Compartimento num modelo de duas zonas multi-compartimentos [10]	35

Figura 23 - Gráfico da temperatura em função do tempo considerando um compartimento de duas zonas obtido pelo programa OZone [10].....	36
Figura 24 – Critérios principais de caracterização de resistência ao fogo [51].....	42
Figura 25 – Esquema da transferência de calor numa parede submetida a incêndio [21]...	70
Figura 26 – Análise gráfica do método descrito no IBC.....	72
Figura 27 – Análise gráfica do método descrito no IBC nas com adição do efeito do ar ...	72
Figura 28 – Gráfico tempo resistência – espessura equivalente blocos cerâmicos	74
Figura 29 - Gráfico tempo resistência – espessura equivalente blocos de betão.....	74
Figura 30 - Gráfico tempo resistência – espessura equivalente blocos de betão leve.....	75
Figura 31 – Exemplos de vários tipos de tijolos [15]	78
Figura 32 – Tijolo maciço em estudo [39].....	80
Figura 33 – Tijolo cerâmico perfurado em estudo [40].....	82
Figura 34 – Tijolo cerâmico de furação vertical em estudo [41]	83
Figura 35 – Tijolos cerâmicos de furação horizontal em estudo [42]	85
Figura 36 - Blocos de betão maciço em estudo [43]	88
Figura 37 - Blocos de betão furado em estudo [44]	89
Figura 38 - Grânulos de argila expandida [49]	91
Figura 39 - Blocos de betão leve, normal e de encaixe em estudo [45]	92
Figura 40 – Placas de gesso cartonado resistente ao fogo	94
Figura 41 – Tempo de resistência de placas de gesso cartonado [1]	95
Figura 42 – Placas de lã de rocha.....	97
Figura 43 – Gráfico usado para determinação da resistência de placas múltiplas em gesso cartonados.....	98
Figura 44 - Esquema das divisórias simples e múltiplas analisadas [46]	98

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Número de incêndios em Portugal (Fonte: ANPC) [53].....	6
Tabela 2 - Escalões de tempo da resistência ao fogo de elementos de isolamento e protecção entre utilizações-tipo distintas.....	53
Tabela 3- Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos de envolvente.....	53
Tabela 4 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de vias horizontais de evacuação interiores protegidas	54
Tabela 5 - Denominação das características de resistência ao fogo.	55
Tabela 6 - Elementos ou partes de obras sem funções de suporte de carga e produtos a eles destinados (Fonte: CEN, 2003. [15]).....	56
Tabela 7 - Elementos ou partes de obras sem funções de suporte de carga e produtos a eles destinados (Fonte CEN, 2003. [15]).....	57
Tabela 8 – Grupo de unidades de alvenaria com base nas características geométricas [6].	61
Tabela 9- Factor de correcção para cálculo da espessura equivalente do revestimento, no lado não exposto ao fogo [1]	65
Tabela 10 - Factor de correcção para cálculo da espessura equivalente do revestimento, no lado não exposto ao fogo [52]	65
Tabela 11 – Tempo de resistência ao fogo dos revestimentos do lado exposto ao fogo [1].	66
Tabela 12 – Espessuras mínimas equivalentes e respectivo tempo de resistência ao fogo de paredes de alvenaria cerâmica (Fonte TABLE 721.4.1(1), IBC) [1]	66
Tabela 13 - Espessuras mínimas equivalentes e respectivo tempo de resistência ao fogo de paredes de blocos de betão (Fonte: TABLE 721.3.2, IBC) [1]	67
Tabela 14 - Espessuras mínimas equivalentes e respectivo tempo de resistência ao fogo de paredes de betão (Fonte: TABLE 721.2.1.1 IBC) [1]	67
Tabela 15 – Características dos tijolos cerâmicos [13].....	78

Tabela 16 – Características mais importantes dos tijolos cerâmicos mais correntes em Portugal [13]	79
Tabela 17 – Espessuras mínimas de alvenaria cerâmica, sem função estrutural, e suas classificações de resistências ao fogo [7]	80
Tabela 18 – Resistência ao fogo dos tijolos cerâmicos maciços.....	81
Tabela 19- Resistência ao fogo dos tijolos cerâmicos perfurados	83
Tabela 20 - Resistência ao fogo dos tijolos cerâmicos com furação vertical.....	84
Tabela 21 – Resistência ao fogo dos tijolos de furação horizontal.....	86
Tabela 22 - Características mais importantes dos blocos de betão correntes em Portugal [13].....	87
Tabela 23 - Espessuras mínimas de alvenaria de betão com agregados de sílica, sem função estrutural, e suas classificações de resistências ao fogo [7].....	87
Tabela 24 - Resistências ao fogo dos blocos de betão maciços	89
Tabela 25 – Resistência ao fogo dos blocos de betão furados.....	90
Tabela 26 – Espessuras mínimas de alvenaria de betão leve, sem função estrutural, e suas classificações de resistências ao fogo [7]	92
Tabela 27 - Resistência ao fogo padrão dos blocos de betão leve	93
Tabela 28 – Tabela com os valores de tempo e temperatura da curva ISO 834	96
Tabela 29 – Resistência ao fogo dos sistemas simples e múltiplos em gesso cartonado	99
Tabela 30 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica maciça com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face	101
Tabela 31 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica perfurado com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face.....	102
Tabela 32 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica com furação vertical com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face	102

Tabela 33 – Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica tradicional com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face	102
Tabela 34 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão maciça com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face	103
Tabela 35 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face	103
Tabela 36 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão leve com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face	103
Tabela 37 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica maciça com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face.....	105
Tabela 38 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica perfurada com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face	105
Tabela 39 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica com furação vertical com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face.....	106
Tabela 40 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica com furação horizontal com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face.....	106
Tabela 41 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão maciça com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face.....	106
Tabela 42 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão furada com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face.....	107
Tabela 43 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão leve com revestimento de 1.5 cm de gesso em cada face	107

Símbolos e Abreviaturas

A - Tempo de resistência ao fogo da caixa-de-ar entre duas camadas de alvenaria [h]

C - Comprimento do bloco [m]

D - Diâmetro do incêndio [m]

$D_{m\acute{a}x}$ - Diâmetro máximo do incêndio [m]

$E_{equi. s.}$ - Espessura equivalente de material sólido [m]

$E_{equi. ar}$ - Espessura equivalente de ar [m]

H - Altura do bloco [m]

H_c - Altura do compartimento [m]

L_f - Altura das chamas [m]

$L_{f\ m\acute{a}x}$ - Altura das chamas máxima [m]

Q -

Q_c - Parte convectiva da taxa de libertação de calor do incêndio

R - Tempo de resistência ao fogo da alvenaria [min]

R_n - Tempo de resistência ao fogo de cada componente da alvenaria [h]

RHR - Taxa de libertação de calor

t - Tempo [min]

V_{ar} - Volume de ar [m³]

V_s - Volume de material sólido [m³]

X - Tempo de Resistência ao fogo [h]

Y - Espessura equivalente de ar [m]

z – Altura da chama [m]

z_0 – Origem virtual da fonte do fogo

θ – Temperatura dos gases num compartimento [°C]

θ_g – Temperatura dos gases na proximidade do elemento de construção [°C]

ANPC – Autoridade Nacional Protecção Civil

ASTM - American Society for Testing and Materials

EC – Eurocódigo

EN – Norma Europeia

IBC – International Building code

ISO – International Organization for standardization

NBR – Norma Brasileira

NFPA - National Fire Protection Association

NP – Norma Portuguesa

RT – SCIE – Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

RJ – SCIE - Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

Esta dissertação foi redigida em conformidade com o antigo Acordo Ortográfico

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

O fogo, devido às suas propriedades, tem uma grande influência nos materiais de construção, uma vez que cada material apresenta comportamentos diferentes quando sujeitos à sua acção. Alguns materiais, como por exemplo a madeira, sofrem uma perda de secção ao longo do desenvolvimento do incêndio, o aço perde a sua rigidez e resistência, enquanto outros como o betão despedaçam-se (Spalling) quando expostos a altas temperaturas [15]. Por isso, o conhecimento e a compreensão sobre o modo de como as estruturas respondem a elevadas temperaturas é essencial no desenvolvimento dos estudos de segurança contra incêndios.

No âmbito da construção de edifícios é fundamental garantir, desde a elaboração do projeto, o bom comportamento das estruturas face às constantes acções a que estão sujeitas, permanentes ou acidentais, como é o caso de um incêndio. Independentemente do tipo de edifício e utilização tipo a que se destina, é indispensável conhecer os seus elementos fundamentais e os diferentes materiais empregues na sua construção.

É uma tendência internacional exigir que todos os materiais, componentes, sistemas construtivos, equipamentos e utensílios usados nas edificações sejam analisados e testados do ponto de vista da Segurança Contra Incêndios [11].

As normas e a legislação nacional de segurança contra incêndio definem que os elementos de construção, como as alvenarias, devem possuir um determinado tempo de resistência ao fogo, o qual varia com o tipo de ocupação da edificação e com a altura total da mesma.

Estes elementos de construção têm grande importância, pois evitam a propagação do fogo ao longo da edificação, possuindo importantes características como incombustibilidade, que faz retardar a propagação das chamas para os espaços contíguos aos do local de eclosão do foco de incêndio.

1.1.1. Motivação

Um incêndio pode ter consequências graves tais como o colapso da estrutura, a perda de vidas humanas e perdas económicas. As alvenarias são elementos de construção com uma grande importância na segurança contra incêndios, a sua função de compartimentação que consiste na interposição de elementos de construção, destinados a separar um ou mais locais do restante da edificação, proporciona rotas de fuga seguras para os usuários da edificação, e gera condições seguras para as operações de resgate de vítimas e combate ao fogo.

1.1.2. Objectivo

Esta dissertação direcciona-se sobretudo para o estudo da resistência ao fogo de alvenarias sem função estrutural executadas com blocos cerâmicos, blocos de betão, podendo estes estarem ou não revestidos, e divisórias leves em painéis de gesso cartonado.

Dado tratar-se de um universo bastante extenso, devido à variedade de materiais e espessuras dos elementos, esta dissertação tem como objectivo compilar num catálogo uma série de soluções construtivas com a respectiva resistência ao fogo.

1.1.3. Estrutura

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos. No primeiro capítulo é feito um enquadramento do trabalho, apresentando uma introdução ao tema e expondo os objectivos e motivação.

O capítulo 2 tem como objectivo resumir o conhecimento genéricos sobre o fogo, tais como: o que é, sua representação gráfica, qual o seu desenvolvimento, propagação, identificação dos vários modelos de incêndios conhecidos. Descreve ainda as duas maneiras distintas de classificar um material de construção no âmbito da segurança contra incêndios, a sua reacção ao fogo e a sua resistência ao fogo.

No capítulo 3 é feita uma abordagem à regulamentação e normalização de resistência ao fogo. Inclui uma breve exposição ao DL n.º220/2008, de 12 de Novembro que estabelece o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, e o Regulamento Técnico Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Portaria n.º 1532/2008. A nível europeu existem normas que regulam os ensaios de resistência ao fogo, e normas que estabelecem valores mínimos de resistência ao fogo dos elementos estudados nesta dissertação.

O capítulo 4 é dedicado ao método de cálculo analítico da resistência ao fogo desenvolvido nesta dissertação.

Por fim, no Capítulo 5 temos as conclusões finais do trabalho. E em anexo é apresentado uma compilação de várias soluções construtivas de alvenarias, sem função estrutural, abordadas nesta dissertação, com a respectiva resistência ao fogo.

Capítulo 2

CONCEITOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

2. CONCEITOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A descoberta do fogo e dos seus modos de obtenção constituiu uma enorme alavanca de desenvolvimento na História da Humanidade. Contudo, para além dos benefícios naturalmente associados, o fogo representa um perigoso meio de destruição.

As edificações constituem um foco de preocupação dada a quantidade de combustível sólido que se encontra no seu interior. Assim, se justifica que a segurança contra incêndios em edifício seja uma preocupação constante de toda a sociedade.

As estatísticas mundiais demonstram que todos os anos os incêndios, nos mais variados tipos de edificações, causam um significativo número de vítimas mortais além de dispendiosas perdas materiais, algumas delas irreparáveis [10].

Devido à ocorrência de grandes incêndios, despertou-se a preocupação internacional de abordar o assunto no sentido de tratá-lo de maneira efectiva no que diz respeito à prevenção e ao combate a incêndios. Desde aí o fogo começou a ser encarado como ciência complexa, pois envolvia conhecimentos de física, química, comportamento humano, toxicologia e engenharia.

Neste cenário, Portugal não tem registado grandes catástrofes, mas o grande incêndio de Lisboa (Chiado – Agosto de 1988) fez soar o alarme e alertou toda a comunidade técnica e científica nacional para a importância da protecção contra incêndios dos edifícios. Seguindo o que já havia sido feito em alguns países europeus, criou-se a regulamentação portuguesa sobre esta matéria [10].

Com esta introdução, podemos pensar que os incêndios são um problema do passado que envolve edifícios antigos mas, na verdade, este é também um risco dos nossos dias.

Em Portugal nos anos mais recentes têm sido registados um número significativo de incêndios urbanos e industriais.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Urbanos	8597	8288	7653	7798	8332	8635	7581	7435	7189	7268	7350	8248
Industriais	1591	1547	1514	1445	1387	1405	908	1031	916	918	952	1165
Totais	10188	9835	9167	9243	9719	10040	8489	8466	8105	8186	8302	9413

Tabela 1 - Número de incêndios em Portugal (Fonte: ANPC) [53]

Quanto à distribuição pelo tipo de ocupação dos edifícios, verificou-se que 55,49% dos incêndios ocorreram em edifícios de habitação. Seguem-se os edifícios devolutos com 16,13%, os hoteleiros e de restauração com 6,77%, os comerciais com 5,96%, os administrativos com 5,26% e os industriais com 3,02%. Os escolares e os hospitalares registaram pouco mais de 1% e as restantes ocupações ficaram abaixo de 1% [53].

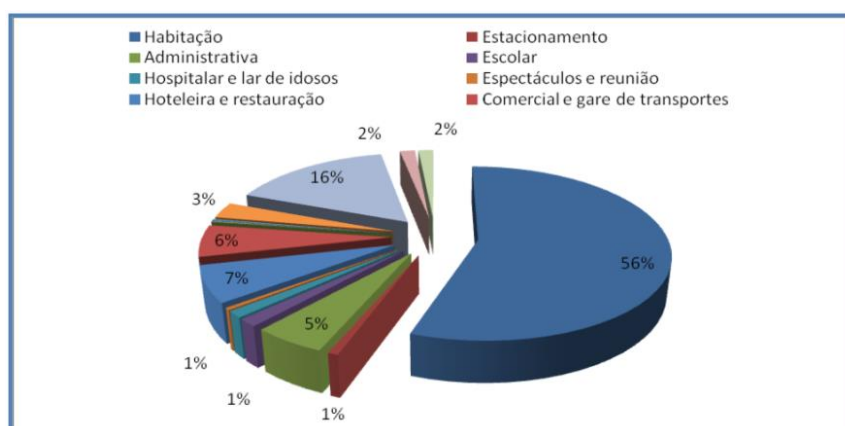


Figura 1 - Incêndios de acordo com o tipo de ocupação dos edifícios [53]

Das causas determinadas e registadas nos relatórios verifica-se que a mais significativa é o descuido com 24,16%. Este resultado é o reflexo natural do elevado número de ocorrências relacionadas com a preparação das refeições e o esquecimento de cozinhados ao lume e ainda com outros descuidos relacionados com velas, aparelhos de aquecimento, lareiras e trabalhos de remodelação em que se recorre ao emprego de chama nua ou outras fontes de calor sem os necessários cuidados de segurança [53].

De seguida aparece-nos a causa designada por curto-circuito com 18,73% das ocorrências. Neste conjunto estão incluídos os curto-circuitos propriamente ditos e também fenómenos de sobreaquecimento ligados ao uso de instalações eléctricas ou ao sobreaquecimento de aparelhos eléctricos, nomeadamente dos electrodomésticos. Em 8,94% dos casos são indicadas causas acidentais, que correspondem a incêndios com origem em avarias ou mau funcionamento de equipamentos eléctricos, a gás, de lareiras e outros aparelhos de aquecimento, alguns casos de ignições nas condutas de exaustão das churrascarias e ainda reacções químicas que originaram incêndios [53].

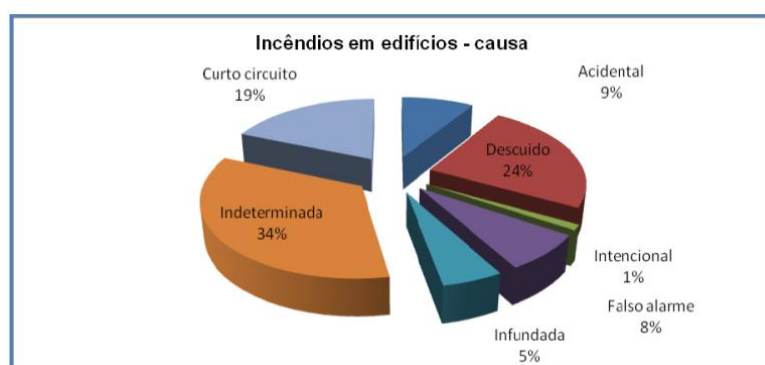


Figura 2 - Distribuição dos incêndios de acordo com a causa [53]

2.1. Fenómeno do Fogo

Na língua portuguesa pode-se considerar a existência de duas palavras para o mesmo fenómeno, fogo e incêndio. Contudo, há uma diferença significativa entre elas.

O fogo, por definição, é a “produção simultânea de calor, luz, fumo e gases resultantes da combustão de substâncias inflamáveis (...)” [25], sendo esta controlada e intencional.

O incêndio, por sua vez, designa a mesma produção de calor, luz, fumo e gases resultantes da combustão de substâncias inflamáveis mas que atinge proporções tais que se torna descontrolada, tanto em tempo como em espaço, provocando malefícios, como a destruição de uma área ou edifício [25].

Apesar dos grandes avanços na ciência do fogo, ainda não há consenso mundial para o definir. Isto é percebido pelas definições usadas nas normas de vários países [11].

- ✓ Brasil - NBR 13860: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz.
- ✓ Estados Unidos da América - (NFPA): fogo é a oxidação rápida auto-sustentada acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz.
- ✓ Internacional - ISO 8421-1: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumo, chama ou ambos.

2.2. Representação Gráfica do Fogo

O fogo é uma reacção química de oxidação entre um combustível e um comburente, a qual é denominada reacção de combustão. Esta reacção química é caracterizada por ser uma reacção exotérmica de onde deriva uma intensa libertação de calor, em geral manifestado por chamas, emissão de fumos e variados gases, entre os quais vapor de água e dióxido de carbono [16]. Em termos simples, os incêndios não se iniciam sem combustível, energia de activação e presença de oxigénio (comburente). Estes três fatores constituem o que se denomina como sendo o triângulo do fogo (Figura 3).

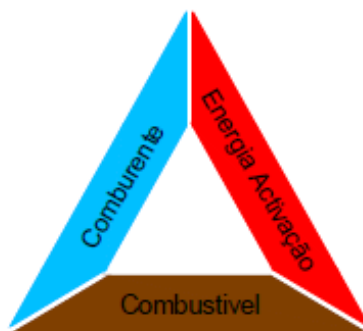


Figura 3 - Triângulo Do Fogo [16]

Após o início da combustão, a energia de activação deixa de ser necessária para a continuidade do processo uma vez que a chama produzida a substitui.

Contudo essa substituição dá origem a reacções em cadeia, garantindo assim uma combustão auto-sustentável. Desta forma o conceito de triângulo do fogo evolui, dando lugar ao denominado tetraedro do fogo [16].

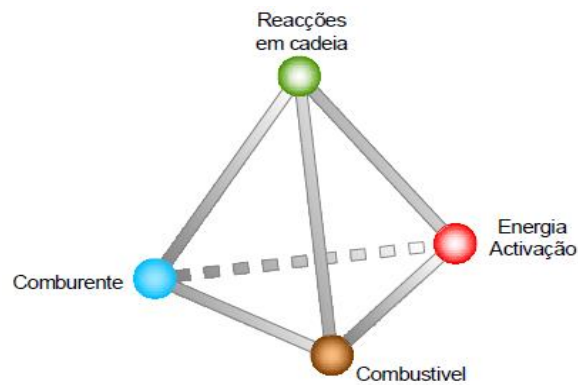


Figura 4 – Tetraedro do Fogo [16]

É importante perceber cada um dos factores intervenientes no tetraedro do fogo. Começando pelo combustível, este pode ser qualquer substância que na presença de um comburente seja susceptível de dar início e sustentar uma combustão [16].

O comburente pode ser qualquer substância oxidante, normalmente toma esse papel o oxigénio devido à sua presença abundante no ar, cerca de 21%, em concentrações normais. Essa quantidade constitui geralmente o ambiente propício para servir de comburente na combustão, caso a sua concentração baixe para um valor inferior a cerca de 15%, este já não é suficiente nem para iniciar uma combustão nem para a manter, assim se percebe que este pode ser um meio de actuação na extinção de um incêndio [16].

A energia de activação, não é mais do que a energia inicial necessária a fornecer ao combustível de forma a elevar a sua temperatura até que seja atingida a temperatura de ignição e conseqüentemente a combustão.

A energia de activação pode ser de vários tipos, chama, faísca, aumento de temperatura por fricção e choque, ou mesmo por contacto com superfícies quentes [16].

Se retirarmos qualquer um dos factores intervenientes no tetraedro do fogo, extinguimos o fogo. Com a retirada de um dos elementos do fogo, temos os seguintes métodos de extinção:

- ✓ Extinção por retirada do material;

Retirada do material que está queimando ou do material que está próximo ao fogo.

- ✓ Por abafamento;

Diminuição ou impedimento o contacto de oxigénio com o combustível.

- ✓ Por resfriamento;

Este método consiste na diminuição da temperatura e eliminação do calor, até que o combustível não gere mais gases ou vapores e se apague.

2.3. Tipos de combustão

A combustão tem uma importância crucial na produção de energia eléctrica nas centrais térmicas, na indústria, no aquecimento de edifícios, transportes, entre outros. No entanto, existe também um conjunto de desvantagens como a poluição do planeta, para a qual a combustão contribui com uma significativa parcela, ou a ocorrência de fogos e explosões.

Pode-se classificar uma combustão entre:

- ✓ Incompleta;
- ✓ Completa;
- ✓ Lenta;
- ✓ Viva;
- ✓ Muito viva;

Uma combustão incompleta ocorre quando o comburente, ou seja, oxigénio não existe em quantidade suficiente para queimar todo o combustível. Na combustão completa, por sua vez, todo o combustível existente é consumido [16].

As combustões podem desenvolver-se a velocidades distintas, dependendo de várias condições, com especial atenção para as características dos combustíveis envolvidos, como o grau de inflamabilidade. Assim sendo, é considerada uma combustão lenta quando o combustível e os produtos resultantes da combustão atingem valores de temperatura inferiores a 500 °C [16].

Numa combustão viva o combustível e os produtos da combustão atingem temperaturas superiores a 500 °C, sendo caracterizada por chamas e emissão de fumos, mais ou menos opacos, dependendo da natureza do material, e da quantidade de ar [16].

A combustão muito viva ocorre quando a combustão deflagra de forma quase instantânea estendendo-se a todo o volume em fracções de segundo [16].

2.4. Mecanismos de Ignição dos materiais combustíveis

Segundo a Norma Portuguesa NP-EN 2 (1993) – Classe dos fogos - podemos classificar os fogos em 4 classes: A, B, C e D. Estas classes estão relacionadas com o estado físico do combustível e com as características particulares da forma como este entra em combustão.

- ✓ Classe A: Fogos resultantes da combustão de materiais sólidos, geralmente de natureza orgânica (madeira, carvão, papel);
- ✓ Classe B: Fogos resultantes da combustão de líquidos ou sólidos liquidificáveis (gasolina, éteres, álcoois, ceras, vernizes, tintas, massas lubrificantes, etc.);
- ✓ Classe C: Fogos resultantes da combustão de gases (metano, butano, propano, hidrogénio, acetileno, etc.);
- ✓ Classe D: Fogos resultantes da combustão de metais leves (lítio, sódio, potássio, magnésio, alumínio e diversas ligas).

Os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos possuem mecanismos diferentes na ignição que podem ser visualizados de seguida.

2.4.1. Combustíveis sólidos

Quando um combustível sólido está exposto a um determinado nível de energia (calor ou radiação) sofre um processo de decomposição térmica, denominado pirólise, que originam produtos gasosos (gás e vapor), que, com o oxigénio do ar, forma a mistura inflamável, ou mistura explosiva. Essa mistura na presença de uma fonte de energia activante como faísca ou chama inflama-se, (Figura 5) [11].

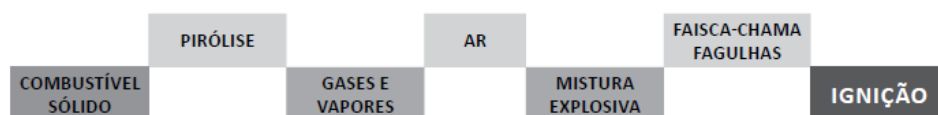


Figura 5 - Mecanismo de ignição de combustíveis sólidos [11]

Enquanto o nível de energia incidente sobre o combustível sólido for suficiente para manter a pirólise haverá continuidade da combustão. A continuidade da combustão ocorre, na maioria dos casos, pelo calor da própria chama do material em combustão. Os materiais pirofóricos conhecidos são: magnésio (Mg), alumínio (Al), urânio (U), sódio (Na), potássio (K), lítio (Li), zircônio (Zr), cálcio (Ca), titânio (Ti) [11].

2.4.2. Combustíveis líquidos

Um combustível líquido exposto a uma determinada quantidade de calor não sofre decomposição térmica, mas um fenómeno físico denominado evaporação, que é a libertação dos vapores, os quais, em contacto com o oxigénio do ar, forma a mistura inflamável, ou mistura explosiva. Essa mistura na presença de uma fonte de energia activante como faísca inflama-se, (Figura 6) [11].

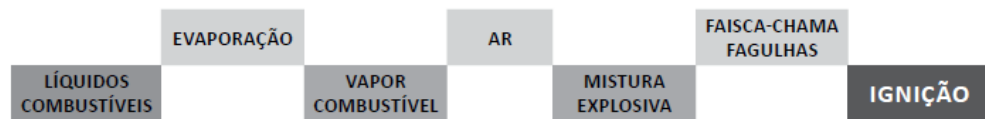


Figura 6 - Mecanismo de ignição de combustíveis líquidos [11]

A combustão terá continuidade caso o líquido atinja a sua temperatura de combustão. Os combustíveis líquidos são na sua maioria derivados de petróleo, denominados hidrocarbonetos. As substâncias oleígenas retiradas de plantas e gorduras animais têm mecanismo semelhante, na ignição, aos derivados de petróleo.

2.4.3. Combustível gasoso

Um combustível gasoso é assim considerado quando se apresenta em forma de gás ou vapor à temperatura ambiente. Esse combustível em contacto com o oxigénio do ar forma a mistura inflamável, ou explosiva, que na presença de uma energia activante como faísca ou chama, se inflama, (Figura 7) [11].

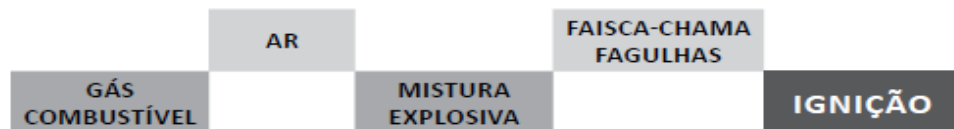


Figura 7 - Mecanismo de ignição de combustíveis gasosos [11]

Os combustíveis gasosos são, na sua maioria, as fracções mais leves do petróleo. Outros gases combustíveis mais conhecidos que não derivam do petróleo são: hidrogénio, o monóxido de carbono, amónia, dissulfeto de carbono.

2.5. Produtos resultantes de uma combustão

A combustão de um material dá geralmente origem a um conjunto de produtos resultantes dessa reacção, tais como calor, chama, fumos e gases [16].

Calor – é o principal responsável pela propagação do fogo, uma vez que leva a que no espaço envolvente sejam atingidas as temperaturas características dos materiais, também combustíveis, mesmo que ainda não tenham sido afectados pela chama.

Este tem uma influência directa na manutenção das reacções em cadeia uma vez que fornece a energia de activação não permitindo a rotura do tetraedro do fogo [16].

Chama – associada ao calor e à radiação luminosa, a chama tem uma forma ascendente devido ao aquecimento que promove do ar. Esta é a fonte de transferências de energia a outros materiais, propagando-se de uma forma multidireccional [16].

Gases de combustão – são um produto resultante da combustão. Os mais comuns são o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂). O monóxido de carbono é geralmente originado quando a combustão é incompleta, por falta de comburente, sendo responsável por inúmeras mortes em incêndios. O dióxido de carbono, em baixas concentrações, não tem um efeito muito gravoso, mas a sua presença em concentrações elevadas numa atmosfera que tenha de ser respirável pode apresentar um elevado perigo para os ocupantes desse espaço [16].

Fumos – Os fumos são frequentes quando ocorre uma combustão incompleta, sendo a sua produção mais intensa quanto mais incompleta for a combustão. Estes não são mais que partículas voláteis que se desprendem do corpo em combustão. Dependendo da cor (relacionada com o tipo de combustível), tamanho e quantidade das partículas em suspensão, podem dificultar muito o combate a um incêndio devido à falta de visibilidade que induzem [16].

Produtos não voláteis – normalmente surgem no estado sólido como no caso das cinzas devido a substâncias minerais que não sofrem combustão nos combustíveis sólidos.

Vapor de água - Sendo o oxigénio o mais usual comburente numa combustão, da sua combinado com um combustível normalmente resulta o vapor de água, que é assim um habitual produto de combustão [16].

2.6. Propagação do calor

Uma vez iniciado o fogo, deve-se ter em conta o mecanismo de transmissão da energia. Cada modo de transmissão da energia (calor) irá influenciar a manutenção e o crescimento do fogo.

A transmissão da energia desenvolve-se por três mecanismos:

- ✓ Condução;
- ✓ Radiação;
- ✓ Convecção;

Condução - É a forma pela qual se transmite o calor através do próprio material, de molécula a molécula ou de corpo a corpo, (Figura 8) [10].



Figura 8 - Transmissão de energia por Condução [10]

Radiação - É quando o calor se transmite por ondas caloríficas através do espaço, sem utilizar qualquer meio material, (Figura 9) [10].

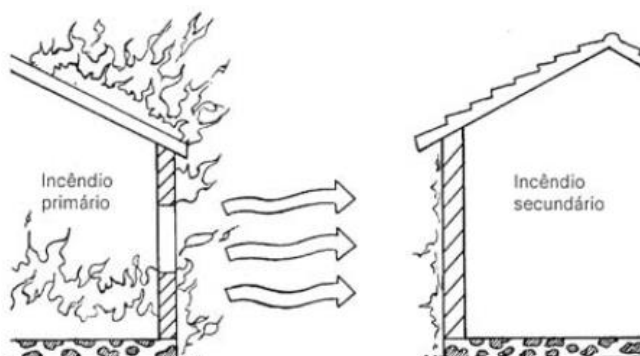


Figura 9 - Transmissão de energia por Radiação [10]

Convecção - É quando o calor se transmite através de uma massa de ar aquecida menos densa, que se desloca do local em chamas para lugares com temperatura inferior, levando a estes a quantidade de calor suficiente para que os materiais combustíveis aí existentes atinjam seu ponto de combustão, originando outro foco de fogo, (Figura 10) [10].

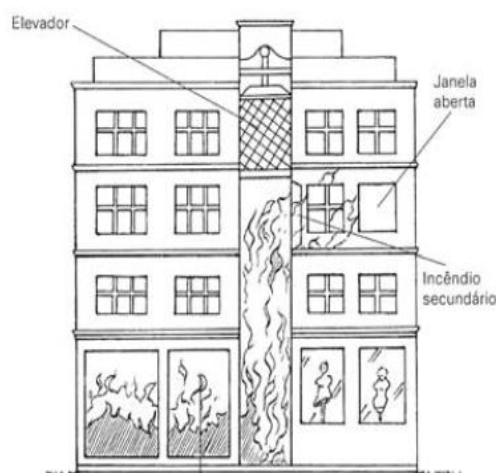


Figura 10 - Transmissão de energia por Convecção [10]

De um modo geral pode-se dizer que a condução do calor é o fenómeno onde a energia é transmitida por meio do material sólido, a convecção do calor é o fenómeno no qual a energia se transmite pela movimentação do meio fluído aquecido (líquido ou gás) e a radiação de energia é o fenómeno no qual a energia se transmite por ondas caloríficas.

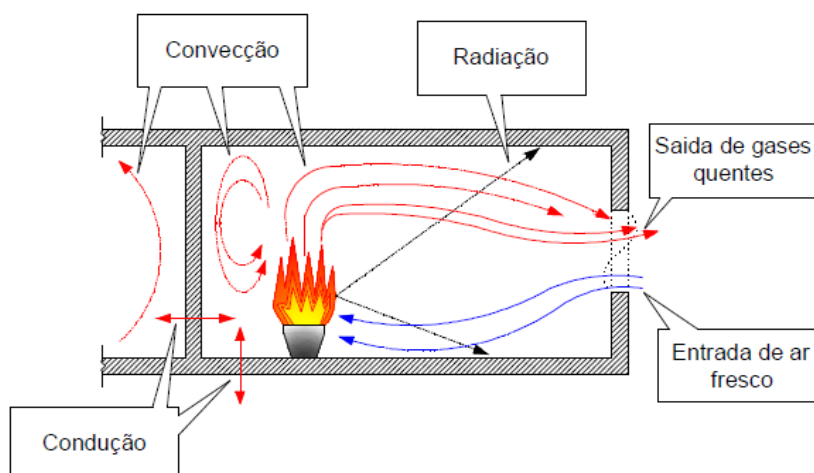


Figura 11 - Mecanismos de transmissão de energia [16]

2.7. Fases de um incêndio

Geralmente um incêndio inicia-se por um fogo pequeno. O crescimento dependerá do primeiro item ignizado, das características do comportamento ao fogo dos materiais na proximidade do item ignizado e sua distribuição no ambiente.

Um incêndio passa por várias fases distintas ao longo do seu desenvolvimento natural.

Fase inicial do incêndio – Ignição

Quando um incêndio está na sua fase inicial, geralmente a sua deflagração é feita de forma lenta e não envolve todo o compartimento onde decorre a ignição. O início da deflagração é localizada e de pequenas dimensões, mas caso sejam garantidas as condições favoráveis para a sua propagação, este rapidamente evolui para um fogo de maiores proporções, sendo o seu crescimento limitado pela quantidade de oxigénio existente e pelo combustível disponível no local de eclosão do fogo [16].

Fase crescente do incêndio – Propagação

Nesta fase, a combustão activa-se rapidamente transmitindo-se aos combustíveis vizinhos. A dissipação de energia nesta fase é feita principalmente por convecção e radiação, contribuindo assim para o aquecimento dos materiais combustíveis adjacentes ao foco inicial. O processo de propagação é contínuo, correspondendo a uma elevação gradual da temperatura no compartimento onde se desenvolve o incêndio.

Normalmente, entre os 500°C e os 600°C, dá-se a inflamação generalizada, também conhecida na terminologia inglesa por *flashover*, que corresponde à situação onde a generalização das chamas leva a que todo o combustível existente no compartimento esteja envolvido no incêndio.

O fenómeno de flashover ou inflamação generalizada é de curta duração, como é possível verificar na Figura 10 [16].

Fase de incêndio generalizado – Combustão contínua

A fase de combustão contínua caracteriza-se pelo facto de o incêndio se encontrar completamente desenvolvido. Nesta fase, verifica-se um aumento da produção de calor, estando o compartimento sujeito às temperaturas mais elevadas que ocorre durante todo o processo de incêndio [16].

Fase de declínio do incêndio – Declínio das chamas

À medida que o combustível vai sendo consumido e as chamas vão diminuindo de intensidade a taxa de libertação de calor diminui. O declínio das chamas pode ser antecipado se a dissipação de energia for superior a sua produção, provocando o abaixamento da temperatura no compartimento até à temperatura normal [16].

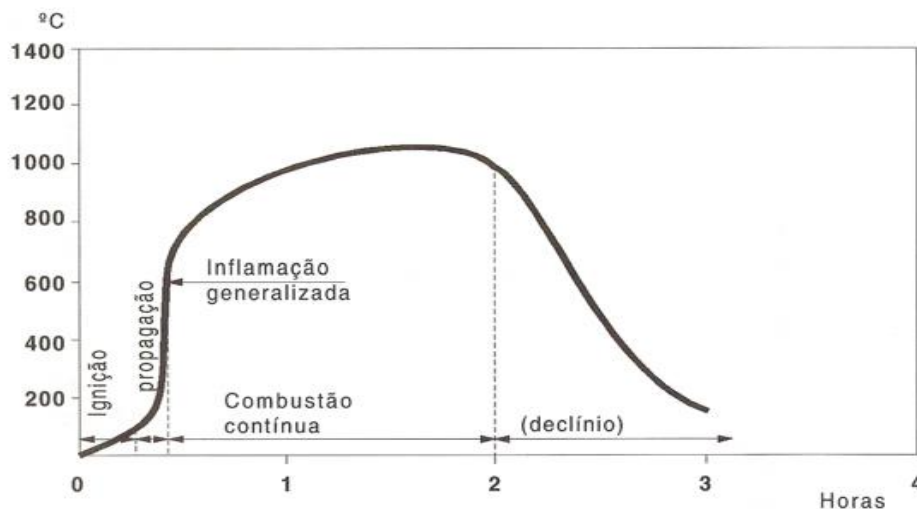


Figura 12 – Curva das fases de desenvolvimento de um incêndio [8]

O incêndio é consequência de um conjunto de fenómenos físicos e depende de um grande número de parâmetros, como o volume e a geometria do compartimento, a natureza e a quantidade dos materiais combustíveis e a existência ou não de ventilação suficiente no compartimento [16].

Devido a estes variados factores, nem todos os incêndios têm um desenvolvimento completo, como se descreveu anteriormente, podendo existir circunstâncias que condicionem a propagação do incêndio de tal forma que este nem chegue a atingir a fase de inflamação generalizada [16].

Essas circunstâncias podem ser de variados tipos, desde acções directas como a intervenção de equipas de intervenção especializadas (bombeiros ou sistemas de extinção), até acções indirectas relacionadas com as características do edifício, como insuficiência de comburente ou reduzida carga de incêndio [16].

A carga de incêndio é a quantidade de calor susceptível de ser libertada pela combustão completa da totalidade de elementos contidos num espaço, incluindo o revestimento das paredes, divisórias, pavimentos e tectos [9].

2.8. Curvas de incêndio nominais

Pela normalização, é necessário usar curvas de aquecimento padronizado para a classificação das estruturas expostas ao fogo. As curvas nominais são curvas convencionais definidas por uma fórmula simples e que não dependem das características do edifício nem das características do compartimento [22].

As curvas de incêndio nominais são funções analíticas que nos dão a temperatura em função do tempo. O termo nominal deve-se ao facto deste tipo de curvas não representarem um incêndio real. A curva nominal mais utilizada como referência para a resistência ao fogo em todo mundo é a curva de incêndio padrão ISO 834. Mas, de acordo com a NP EN 1991-1-2 (EC1) [4], existem ainda mais duas curvas nominais, a curva de incêndio para elementos exteriores e a curva de incêndio de hidrocarbonetos.

Com base em alguns estudos europeus realizados nos últimos anos, percebe-se que, no caso de compartimentos de grandes dimensões, este tipo de abordagem é demasiado conservadora e pouco realista, sendo pouco viável economicamente [10].

De seguida são abordadas as curvas nominais adoptadas no EC1, e a curva regulamentar americana ASTM E119. Porém, existem outras curvas nominais adoptadas noutros países como, por exemplo, a curva britânica BS 476, a curva australiana AS 1530, a curva canadiana ULC S101 e a curva japonesa JIS A 13040 [10].

2.8.1. Curva de incêndio padrão ISO 834

A curva de incêndio padrão ISO 834 é a curva padrão mais utilizada quer no passado quer actualmente nos ensaios experimentais para a determinação da resistência ao fogo dos elementos estruturais. É dada pela equação (2.1), e é usada para representar um incêndio completamente desenvolvido num compartimento:

$$\theta = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (2.1)$$

Onde:

θ - temperatura dos gases no compartimento de incêndio (°C)

t - tempo (min)

Apesar de esta ser a curva mais utilizada, esta tem várias limitações: [10]

- ✓ Tem que ser considerada em todo o compartimento, mesmo sendo um grande compartimento;
- ✓ Não considera a fase pré-flashover;
- ✓ Nunca decresce;
- ✓ Não depende da carga de incêndio e das condições de ventilação.

2.8.2. Curva de incêndio para elementos exteriores

A curva de incêndio para elementos exteriores é usada para elementos estruturais exteriores expostos ao fogo diretamente a partir do interior do compartimento através das aberturas nas fachadas do edifício (janelas, por exemplo) [10].

A curva de incêndio para elementos exteriores é expressa pela equação (2.2):

$$\theta_g = 20 + 660(1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t}) \quad (2.2)$$

Onde:

θ_g - temperatura dos gases na proximidade do elemento ($^{\circ}\text{C}$);

t – tempo (min).

2.8.3. Curva de incêndio de hidrocarbonetos

Ao contrário da curva de incêndio padrão, que aumenta progressivamente ao longo do tempo, a curva de incêndio de hidrocarbonetos aumenta muito rapidamente, demorando aproximadamente meia hora até atingir 1100°C , permanecendo a temperatura constante a partir desse momento. [10]

$$\theta_g = 20 + 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20 \quad (2.3)$$

Onde:

θ_g - temperatura dos gases na proximidade do elemento ($^{\circ}\text{C}$);

t – tempo (min).

2.8.4. Curva de incêndio ASTM E119

A ASTM 119 é a curva usada na América (American Society for Testing and Materials) para ensaios e apresenta um comportamento similar à ISO 834. É dada pela equação (2.4): [10]

$$\theta = 750(1 - e^{(-3.79553\sqrt{t})} + 170,41\sqrt{t} + 20 \quad (2.4)$$

Onde:

θ - temperatura dos gases na proximidade do elemento (°C);

t - tempo (h);

Na figura 13 estão representadas as curvas nominais de tempo - temperatura definidas no EC 1 e ASTM E119. Como referido anteriormente Podemos verificar as semelhanças da ISO 834 e ASTM E119, e da particularidade do aumento rápido da curva dos hidrocarbonatos no primeiro intervalo de tempo.

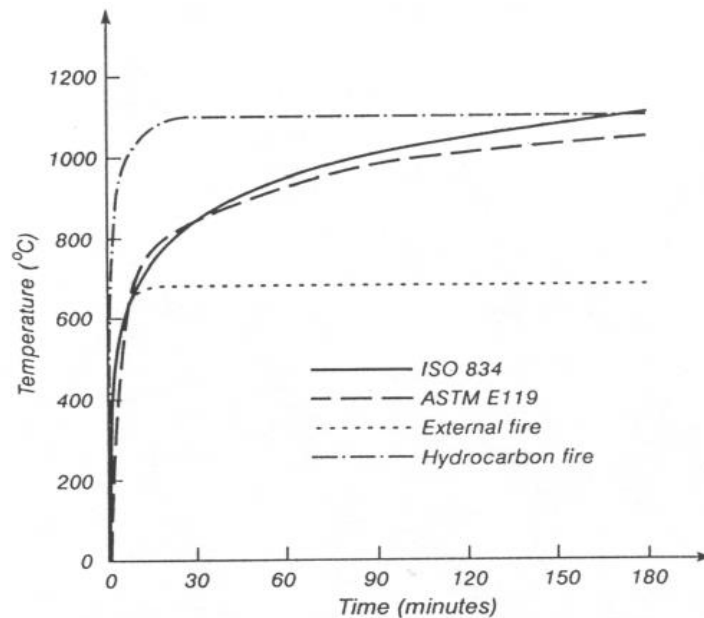


Figura 13 - Curvas nominais temperatura – tempo, definidas no Eurocódigo 1 e ASTM E119 [50]

2.9. Modelos de incêndio natural

No caso das curvas nominais anteriormente descritas a temperatura é diretamente obtida por uma expressão matemática (temperatura em função do tempo). Quando utilizamos modelos de incêndio natural o processo torna-se mais complexo, havendo a necessidade de introduzir alguma informação. Uma parte está diretamente relacionada com a geometria do compartimento (tamanho do compartimento, dimensões das portas e janelas, características da envolvente, etc.). A outra parte da informação necessária para uma análise baseada num modelo de incêndio natural está relacionada com a natureza do fogo, o seu desenvolvimento e a sua gravidade, sendo necessários parâmetros como [10]:

- ✓ Densidade de carga de incêndio;

A densidade de carga de incêndio é a carga de incêndio por unidade de área útil de um dado espaço ou, para o caso de armazenamento, por unidade de volume;

Existem dois métodos para calcular a densidade de carga de incêndio, um determinístico e um estatístico.

O método determinístico, raramente utilizado, consiste na soma de todas as cargas de incêndio existentes num edifício e os métodos estatísticos cuja aproximação só é válida para tipos de edifícios onde podem ser esperadas quantidades semelhantes de carga de incêndio. O Anexo E do EC1 - Parte 1-2 estabelece alguns valores característicos da densidade de carga de incêndio em função do tipo de ocupação do edifício [10].

- ✓ Factor de aberturas;

As aberturas num compartimento podem ser janelas, portas e aberturas horizontais. A severidade de um incêndio num compartimento depende da quantidade de aberturas no mesmo.

Quando for necessário considerar várias aberturas verticais, torna-se indispensável determinar a área total das aberturas verticais em todas as paredes e uma altura equivalente que é a média pesada da altura das aberturas verticais [10].

✓ Taxa de libertação de calor (RHR)

A taxa de libertação de calor é o parâmetro mais importante na caracterização de um incêndio. Esta representa a quantidade de energia libertada por segundo, ou seja, a velocidade à qual a carga de incêndio queimar-se-á.

Comparando as curvas nominais com a curva de incêndio natural, Figura 14, verifica-se que a curva de incêndio padrão não tem fase de arrefecimento e extinção, o que poderá levar a erros no estudo de estruturas, uma vez que nesta fase existem retracções e perdas de ductilidade que podem provocar roturas [22].

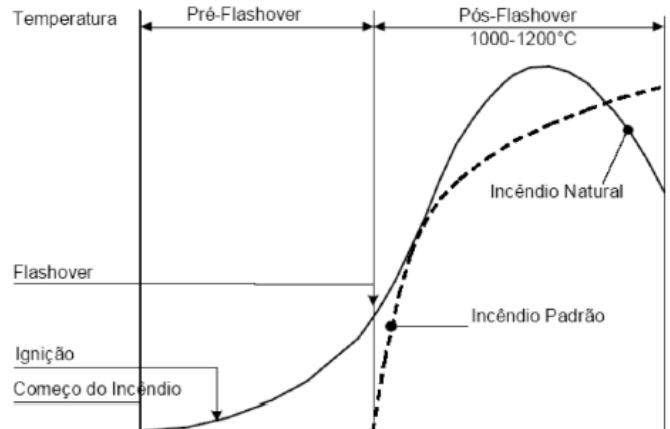


Figura 14 – Representação da curva de incêndio nominal padrão e natural [22]

O desenvolvimento no estudo dos modelos de incêndio natural veio permitir aos projectistas de estruturas caracterizar os diversos cenários de incêndio de uma forma mais realista, encontrando soluções mais económicas sem comprometer a segurança da estrutura em situação de incêndio.

Existem métodos distintos para o cálculo das temperaturas no compartimento de incêndio, sendo eles:

- ✓ Modelos de incêndio simplificados;
- ✓ Modelos de incêndio avançados;

2.9.1. Modelos de incêndio simplificado

No EC1 são apresentados dois modelos de incêndio simplificados, o incêndio localizado e incêndio desenvolvido. Por sua vez os incêndios localizados dividem-se em dois tipos consoante a chama toca, ou não, no tecto, e o incêndio desenvolvido baseia-se nas curvas de incêndio paramétricas.

2.9.1.1. Incêndios Localizados

Normalmente os incêndios em edifícios começam com um pequeno incêndio localizado e quando se dá o flashover, o incêndio deixa de ser localizado e passa a estar desenvolvido em todo o compartimento.

O EC1 [4] diz que se deve considerar as acções térmicas de um incêndio localizado nos casos em que é improvável a ocorrência de flashover. Porém, segundo Jean-Marc Franssen e Paulo Vila Real, o termo “improvável” é enganador e não pode ser transformado numa regra geral, a expressão mais correta seria: “deve-se considerar as acções térmicas de um incêndio localizado nos casos em que o flashover ainda não ocorreu” (Franssen et al., 2007; Franssen and Vila Real, 2010) [10].

O Anexo C do EC1 apresenta dois modelos para avaliar a acção térmica de um incêndio localizado, cuja utilização depende da dimensão máxima da chama (L_f), e da altura do compartimento (H_c), o modelo Heskestad e o modelo Hasemi.

O comprimento das chamas é dado por:

$$L_f = 0.0148Q^{0.4} - 1.02D \quad (2.5)$$

Onde:

L_f – Altura das chamas;

Q – Taxa de libertação de calor do incêndio;

D – Diâmetro do incêndio.

Considera-se que as chamas têm dimensão máxima quando o diâmetro do incêndio é máximo, então:

$$L_{f,máx} = 0.0148Q^{0.4} - 1.02D_{máx} \quad (2.6)$$

Onde:

$L_{f,máx}$ – Altura das chamas máximas;

Q – Taxa de libertação de calor do incêndio;

$D_{máx}$ – Diâmetro do incêndio máximo.

Se a chama não atinge o tecto do compartimento aplica-se o modelo de Heskestad, caso contrário aplica-se o modelo de Hasemi.

2.9.1.1.1. Modelo HESKESTAD, Anexo C da EN 1991-1-2

No método HESKESTAD a principal consideração em ter em conta é que a chama do foco de incêndio não atinge o tecto do compartimento, ou seja, $(L_{f,max} < H_c)$.

$$\theta = 20 + 0.25Q_c^{\frac{2}{3}}(z - z_0)^{-\frac{5}{3}} \leq 900 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.7)$$

Em que:

Q_c – Parte convectiva da taxa de libertação de calor do incêndio [W], com $Q_c = 0.8Q$, na ausência de mais informação;

z – Altura ao longo do eixo da chama, (m);

z_0 – Origem virtual da fonte de fogo, calculada a partir da equação (2.8), (m);

$$z_0 = 0.00524 Q^{0.4} - 1.02 D \quad (2.8)$$

Q – Taxa de libertação de calor do incêndio;

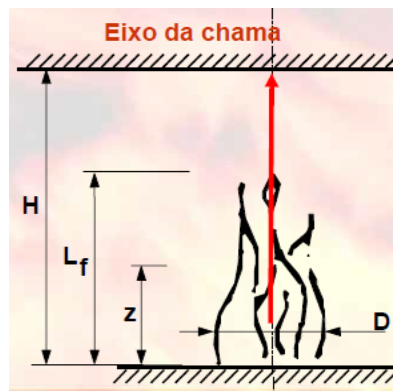


Figura 15 – Representação gráfica do método HESKESTAD [10]

A Figura 16 ilustra um exemplo de uma curva de incêndio obtida a partir do programa Elefir-EN (Vila Real and Franssen, 2011) considerando um compartimento de um edifício de escritórios com área máxima de incêndio igual a 25m² e 3m de altura (chama não toca no tecto) [10].

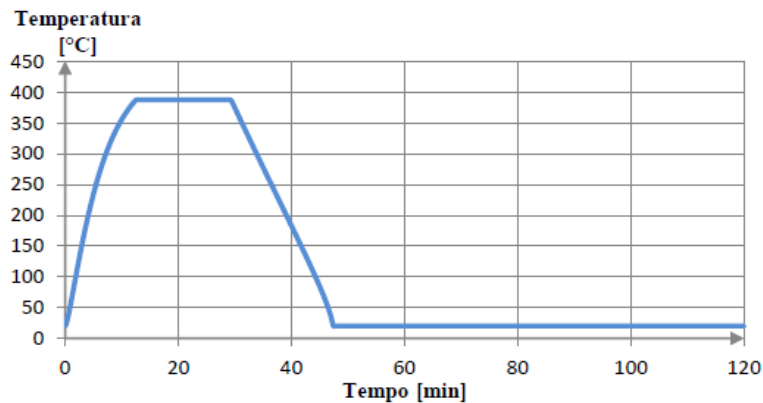


Figura 16 – Exemplo de uma curva de incêndio obtida pelo programa Elefir-EN [10]

2.9.1.1.2. Modelo HASEMI, Anexo C da EN 1991-1-2

No método HASEMI a principal consideração em ter em conta é que a chama do foco de incêndio atinge o tecto do compartimento, ou seja, ($L_{f,max} > H_c$). Este tipo de modelo aplica-se muito na análise da segurança em situação de incêndio de parques de estacionamento (Haremza et al., 2011; Vila Real et al., 2011) [10].

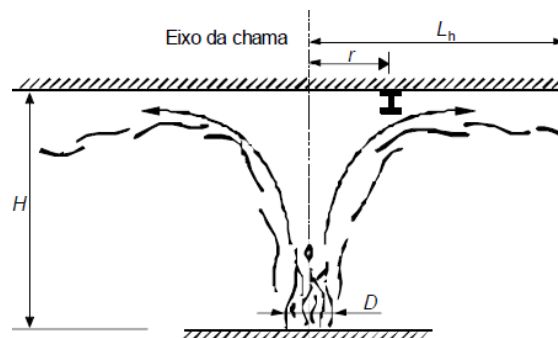


Figura 17 - Representação gráfica do método HASEMI [10]

Este método é mais complicado de se aplicar, são necessárias taxas de libertação de calor adicionais, mas todo este cálculo torna-se bastante mais rápido com a utilização de software apropriado, como por exemplo o programa Elefir-EN (Vila Real and Franssen, 2011) [10].

A Figura 18 ilustra um exemplo de uma curva de incêndio obtida pelo programa Elefir-EN (Vila Real and Franssen, 2011) considerando um compartimento de uma livraria com área máxima de incêndio igual a 25m² e 3m de altura (chama toca no tecto) [10].

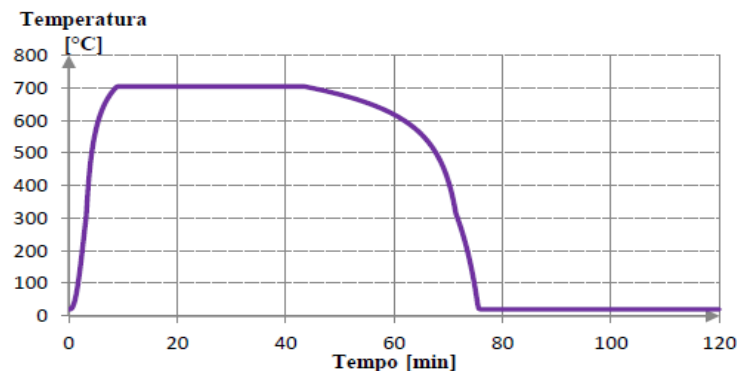


Figura 18 - Exemplo de uma curva de incêndio obtida pelo programa Elefir-EN [10]

2.9.1.2. Incêndio Desenvolvido

2.9.1.2.1. Curvas paramétricas

As curvas paramétricas traduzem, de forma idêntica às curvas nominais, uma evolução da temperatura em função do tempo, considerando a temperatura uniforme em todo o compartimento. A diferença que se verifica das curvas paramétricas para as curvas nominais consiste no facto das primeiras dependerem de diversos fatores, dos quais se destacam a densidade de carga de incêndio, as condições de ventilação e as características térmicas da envolvente.

As curvas de incêndio paramétricas adoptadas no EC1 têm algumas limitações como:

- ✓ São válidas apenas para compartimentos com área em planta até 500 m²;
- ✓ A altura máxima do compartimento, em estudo é de 4 m;
- ✓ O compartimento não pode ter aberturas horizontais;
- ✓ Admite que a carga de incêndio do compartimento é totalmente consumida;
- ✓ As propriedades térmicas da envolvente do compartimento devem situar-se entre 100 e 2200 [$J/m^2s^{1/2}K$];
- ✓ O factor de abertura do compartimento em análise deve estar compreendido entre 0,02 e 0,2 m^{1/2}.

Um estudo recente em edifícios em Edimburgo, Reino Unido sublinha as implicações destas limitações, no método, sobre a aplicabilidade deste tipo de modelo ao dimensionamento ao fogo de estruturas modernas. Para edifícios construídos a partir do início do Séc. XX, 66% do seu volume total está dentro das limitações. No entanto, num edifício moderno construído recentemente, que tem espaços abertos e fachadas em vidro, apenas 8% do seu volume total está dentro das limitações (Jonsdottir and Rein, 2009) [10].

Este estudo sugere que com a construção moderna, a produção de edifícios que têm compartimentos aos quais as curvas paramétricas não devem ser aplicadas está a aumentar. [10]

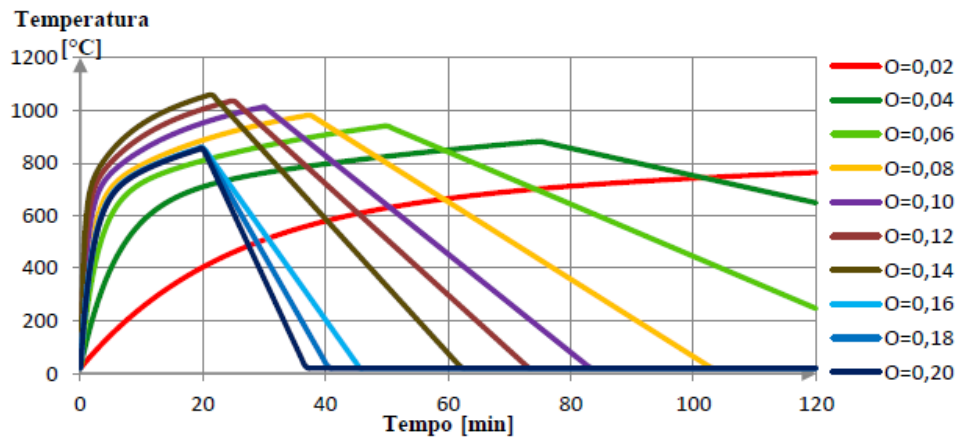


Figura 19 - Exemplo de curvas paramétricas com vários factores de abertura [10]

Um incêndio pode ser controlado pela densidade de carga de incêndio ou pela ventilação, como já referido. A Figura 19 demonstra um incêndio controlado pela ventilação, e é possível verificar que para factores de abertura compreendidos entre 0.02 e 0.14 mais curto e agressivo é o incêndio, para valores compreendidos entre 0.14 e 0.20 o incêndio é ainda mais curto mas não atinge temperaturas tão elevadas.

Se um incêndio é controlado pela densidade de carga de incêndio, o factor de abertura influencia apenas a velocidade de arrefecimento do incêndio [10].

2.9.1.2.2. Fogos Móveis

Considera-se um fogo móvel quando um fogo começa a partir de uma zona do compartimento e depois alastra-se a outras zonas, sendo que entretanto se extingue onde inicialmente deflagrava. Este tipo de fogos é típico de compartimentos de grandes dimensões [10].

Ao longo da última década, os métodos computacionais para determinar o comportamento estrutural dos edifícios têm mais capacidade para analisar modelos estruturais mais complexos.

Os edifícios modernos não se comportam da forma que os simples modelos tradicionais de análise estrutural faziam crer. Os modelos tradicionais simplistas não são representativos da evolução de incêndios em compartimentos de grandes dimensões. Em 2003, em Cardington, Lennon e Moore chegaram à conclusão que os modelos adoptados no EC1 deveriam ser alvos de melhorias [10].

Na tentativa de rectificar os diferentes níveis de sofisticação entre o dimensionamento ao fogo e a consequente análise estrutural, foi proposto um novo método na Universidade de Edinburgh para determinação das temperaturas em compartimentos de incêndio, onde é introduzido um novo conceito: *travelling fires*, designado neste trabalho por “fogos móveis” (Law et al., 2011; Stern-Gottfried, 2011; Stern-Gottfried et al., 2009) [10].

Uma das principais conclusões obtidas a partir destes estudos refere que o impacto dos fogos móveis na estrutura de um edifício pode ser mais severo que os fogos obtidos pelas curvas paramétricas adoptadas no EC1 [10].

Este conceito de fogos móveis que considera a temperatura não uniforme no compartimento de incêndio, entra em contraste directo com a base dos atuais métodos de análise de compartimentos em situação de incêndio. Um fogo que arde uniformemente dentro de um grande compartimento poderia gerar altas temperaturas, mas apenas por um período relativamente curto. No entanto, um fogo que se move vai criar temperaturas elevadas longe das chamas (*far field*) e próximo das chamas (*near field*). Assim, um incêndio móvel pode sujeitar a estrutura a altas temperaturas por períodos mais longos [10].

A análise estrutural do edifício em situação de incêndio com base numa temperatura não uniforme no compartimento pode detectar falhas na estrutura que a mesma análise baseando-se numa temperatura uniforme no compartimento não detectaria. A Figura 20 ilustra as duas zonas consideradas num fogo móvel.

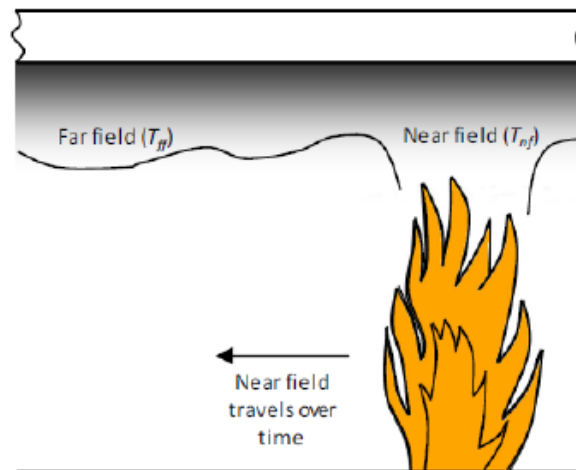


Figura 20 - Ilustração da zona próxima das chamas (*near field*) e da zona distante das chamas (*far field*) de um fogo móvel [10]

Tal como outros métodos, o método dos fogos móveis assume princípios como a existência de uma densidade de carga de incêndio uniforme ao longo do caminho e que o fogo tem uma taxa de libertação de calor por unidade de área constante. Com este método é possível calcular o tempo de queima, a temperatura na zona distante das chamas e a temperatura máxima no compartimento de incêndio [10].

2.9.2. Modelos de incêndio avançados

Os modelos de incêndio avançados dividem-se em dois tipos, modelo de uma zona e duas zonas. Estes modelos de zona podem ser usados para avaliar o desenvolvimento da temperatura num compartimento, em multi-compartimentos, e pode avaliar-se também o desenvolvimento da temperatura nos compartimentos adjacentes.

Estes métodos baseiam-se na hipótese de que a temperatura é uniforme em cada zona do compartimento e consistem na aplicação de programas numéricos que calcula o desenvolvimento da temperatura dos gases em função do tempo, integrando as equações diferenciais que expressam a conservação de massa e a conservação de energia para cada zona do compartimento (Franssen and Vila Real, 2010; Vassart et al., 2007) [10].

Tal como noutros métodos, são necessários alguns parâmetros para aplicar um modelo de zona, tais como:

- ✓ Informações geométricas, como as dimensões do compartimento, as aberturas e a disposição dos elementos de compartimentação;
- ✓ Propriedades dos materiais constituintes das paredes;
- ✓ Dados de incêndio, como as curvas RHR, a taxa de pirólise e o calor de combustão do combustível.

Um programa muito utilizado na análise da acção térmica baseado neste tipo de modelos é o programa OZone desenvolvido na Universidade de Liège, na Bélgica [10].

2.9.2.1. Modelo de uma zona

Nos modelos de uma zona admite-se que o incêndio está desenvolvido em todo o compartimento, ou seja, representa-se uma situação pós-flashover, onde se considera a temperatura uniforme em todo o compartimento.

2.9.2.2. Modelo de duas zonas

Os modelos de duas zonas consideram que o compartimento se encontra dividido em duas camadas, uma camada superior a temperatura elevada e uma camada inferior onde a temperatura permanece mais baixa, admitindo-se que a temperatura é uniforme em cada uma das zonas.

Isto acontece porque quando a dimensão do fogo é pequena comparado com as dimensões do compartimento onde este se desenvolve, a hipótese de temperatura uniforme no compartimento não é válida, daí a divisão em duas camadas.

Com um software específico (OZone), determina-se a temperatura do gás em cada uma das duas camadas, as temperaturas das paredes e o fluxo através das aberturas.

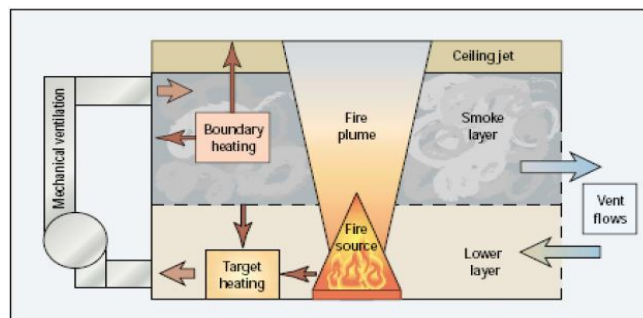


Figura 21 – Exemplo de um compartimento num modelo de duas zonas [10]

A Figura 21 é o exemplo de uma situação onde apenas ocorrem trocas de massa e energia do compartimento com o exterior. Mas este tipo de modelos é também capaz de analisar edifícios mais complexos onde existem trocas com outros compartimentos do edifício e com o exterior, Figura 22.

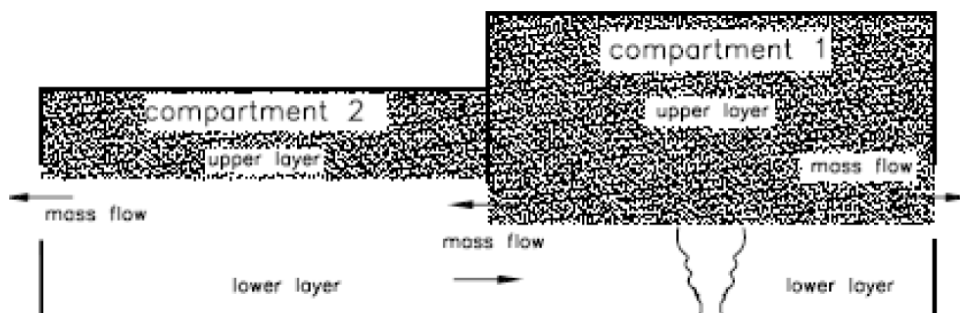


Figura 22 - Compartimento num modelo de duas zonas multi-compartimentos [10]

Na Figura 23 temos um exemplo de um gráfico da temperatura em função do tempo. Este é conseguido através do software Ozone.

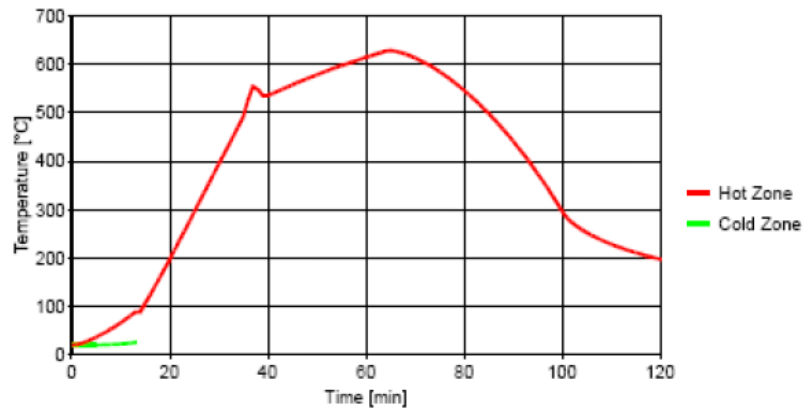


Figura 23 - Gráfico da temperatura em função do tempo considerando um compartimento de duas zonas obtido pelo programa OZone [10]

2.10. Comportamento ao fogo dos elementos de construção

O desenvolvimento tecnológico trouxe profundas modificações nos sistemas construtivos, caracterizadas pela utilização de grandes áreas sem compartimentação, pelo emprego de fachadas envidraçadas e pela incorporação acentuada de materiais combustíveis aos elementos construtivos. Tais modificações, aliadas ao número crescente de instalações e equipamentos de serviço, introduziram riscos que anteriormente não existiam nas edificações [27].

O projeto de edificações deve atender as necessidades funcionais, estéticas e económicas determinadas pelo proprietário, sem jamais esquecer as exigências relativas à segurança.

2.10.1. Reacção ao fogo

A contribuição que os materiais combustíveis incorporados nos sistemas construtivos podem oferecer para o desenvolvimento de uma situação de incêndio, através da ignição e sustentação da combustão, do desenvolvimento de calor, da propagação das chamas, do desprendimento de partículas em chamas/brasa e do desenvolvimento de fumaça e gases tóxicos é denominada reacção ao fogo dos materiais [28].

A reacção ao fogo dos materiais contidos na edificação, quer seja como mobiliários (estofamentos, cortinas, objectos de decoração, etc.), ou então como agregados aos elementos construtivos (revestimentos de paredes, tectos, pisos e fachadas), destaca-se como um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento do fogo, pela propagação das chamas e pelo desenvolvimento do fumo e gases tóxicos, contribuindo para que o incêndio atinja fases críticas e gere pânico e mortes [28].

Deve ser dispensada especial atenção aquando da escolha de materiais destinados aos revestimentos/acabamentos de paredes, tectos e pisos, bem como daqueles incorporados aos elementos que compõem os sistemas construtivos, de modo a seleccioná-los conforme seu desempenho diante do fogo, prevenindo-se, assim, os riscos de ignição, crescimento e propagação do fogo, e consequentemente salvaguardar da vida humana e dos bens.

As características de reacção ao fogo dos materiais podem ser determinadas em laboratório, de modo isolado, mediante condições padronizadas que visam reproduzir determinados momentos de um incêndio [28].

Para que seja avaliado o desempenho dos produtos de construção, estes estão sujeitos a cinco ensaios de reacção ao fogo, realizados segundo modelos europeus. A avaliação é feita de acordo com os resultados obtidos nesses ensaios, sendo eles [26]:

- ✓ Ensaio de não-combustibilidade, onde é avaliada a produção de calor e de chama dos materiais quando sujeitos a temperaturas elevadas, sujeitando o material a uma situação de fogo normalizado em pleno desenvolvimento;
- ✓ Ensaio de poder calorífico, onde é avaliado o poder calorífico de um produto homogéneo resultante da sua total combustão;
- ✓ Ensaio SBI (do ingles Single Burning Item, elemento isolado em combustão) onde são avaliados vários aspectos do desempenho dos materiais ao fogo quando estes estão submetidos à acção das chamas. Neste ensaio são avaliados aspectos como: a taxa desenvolvimento do fogo, taxa de desenvolvimento do fumo, o calor total libertado, a produção total de fumo; a propagação lateral da chama, a ocorrência de queda de gotas ou partículas inflamadas e a duração da inflamação;
- ✓ Ensaio de inflamabilidade, ou de pequena chama, onde é avaliada a facilidade de ignição de um produto quando este é sujeito à incidência directa de uma pequena chama;
- ✓ Ensaio do painel radiante, onde é avaliado o desempenho de produtos destinados a revestimentos de piso quando este é sujeito ao fogo. Este ensaio tem como objectivo determinar a propagação da chama num revestimento de piso estando este sujeito a um gradiente térmico radiactivo e uma chama piloto.

Mediante os resultados obtidos nos cinco ensaios, é então atribuída uma classificação ao produto ou sistema construtivo. O sistema europeu de classificação dos produtos de construção que vigora na União Europeia está descrito, no essencial, nas decisões comunitárias 2000/147/CE) [33] e 2003/632/CE [34].

As classes de reacção ao fogo de produtos de construção (excluindo revestimento de piso, produtos lineares de isolamento térmico de tubagens e cabos eléctricos) são então designadas de A1, A2, B, C, D, E e F.

As classes de reacção ao fogo de produtos de construção destinados a revestimento de piso são então designadas de A1_f, A2_f, B_f, C_f, D_f, E_f e F_f.

As classes de reacção ao fogo de produtos lineares de isolamento térmico de tubagens são então designadas de A1_l, A2_l, B_l, C_l, D_l, E_l e F_l.

As classes de reacção têm a seguinte designação:

A1 – Produtos que não contribuem de todo para o fogo;

A2 – Produtos que não contribuem significativamente para o fogo;

B – Produtos que contribuem para o fogo numa extensão muito limitada;

C – Produtos que contribuem para o fogo numa extensão limitada;

D – Produtos que contribuem para o fogo numa extensão aceitável;

E – Produtos cuja reacção ao fogo é aceitável num período de exposição pequeno a uma chama pequena;

F – Produtos que não têm reacção ao fogo determinada e que não podem ser classificadas nas outras classes.

Para melhor caracterizar um produto de acordo com a sua produção de fumos e formação de gotas inflamadas, é atribuída uma classificação adicional s1, s2 e s3 para classificar a produção de fumos; e d0, d1 e d2 para classificar o produto quanto à formação de gotas flamejantes [26].

As classes adicionais têm a seguinte designação:

s1 – Produção de fumo muito reduzida;

s2 – Produção de fumo limitada;

s3 – Produção de fumo não satisfaz as condições s1 e s2;

d0 – Não existe formação de partículas ou gotículas inflamáveis;

d1 – Formação de partículas ou gotículas inflamáveis, mas que se extinguem rapidamente;

d2 – Formação de partículas ou gotículas inflamáveis, mas que não satisfaz as condições

d0 e d1.

Todas as classes principais são complementadas pelas classes adicionais (ex. B-s1,d0; D-s3,d2; etc.), à excepção das classes A1 e F, visto que não contribuem para o fogo.

Para que os produtos de construção transitem livremente pelo Espaço Económico Europeu, é necessário que estes produtos sejam portadores de classificação europeia de reacção ao fogo, sendo esta classificação obrigatória aos produtos sujeitos à marcação CE.

Em Portugal, o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, PT n.º 1532/2008 [8], impõe exigências de reacção ao fogo para os materiais de construção, sendo que estes devem possuir relatórios de classificação emitidos pelos organismos acreditados e competentes para esse efeito. Os relatórios de classificação devem ser emitidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [29].

2.10.2. Resistência ao fogo

O comportamento face ao fogo dos elementos estruturais ou de compartimentação, considerado em termos da manutenção das funções que tais elementos devem desempenhar em caso de incêndio, caracteriza-se por um indicador denominado resistência ao fogo.

Este avalia-se pelo tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado a que o elemento é submetido até ao momento em que ele deixa de satisfazer determinadas exigências relacionadas com as referidas funções [29].

Para caracterizar o seu desempenho em situações de incêndio, os elementos de compartimentação de um edifício são definidos à escala europeia. O sistema Europeu de classificação dos produtos de construção, do ponto de vista do seu desempenho de resistência ao fogo, é objecto de uma Decisão da Comissão Europeia de 3 de Maio de 2000 (2000/367/CE) [36].

Os desempenhos são exprimidos através de três critérios principais de classificação.

R – Capacidade de suporte de carga

O símbolo R aplica-se unicamente aos elementos de construção a que seja exigida simplesmente função de suporte de cargas, como pilares e vigas.

Admite-se que esta função deixa de ser cumprida quando no decurso do processo térmico referido se considere esgotada a capacidade resistente do elemento sujeito às acções de dimensionamento e admite-se que essa função é cumprida enquanto o elemento mantém as características de resistência mecânica para que foi dimensionado [29].

E – Estanquidade a chama e gases inflamáveis

O símbolo E aplica-se aos elementos de construção com função de compartimentação, como divisórias, a que é exigida apenas uma função de estanqueidade perante as chamas e os gases quentes.

Admite-se que esta função deixa de ser cumprida quando no decurso do processo térmico referido se verifica a emissão de chamas ou de gases inflamáveis pela face do elemento não exposto ao fogo, seja por atravessamento, seja por produção local devida à elevação de temperatura [29].

I – Isolante térmico

O símbolo I aplica-se aos elementos aos quais, para além de uma exigência da estanqueidade perante as chamas, se impõe também uma exigência de isolamento térmico, ou seja, a limitação do aumento de temperatura na face não exposta [29].

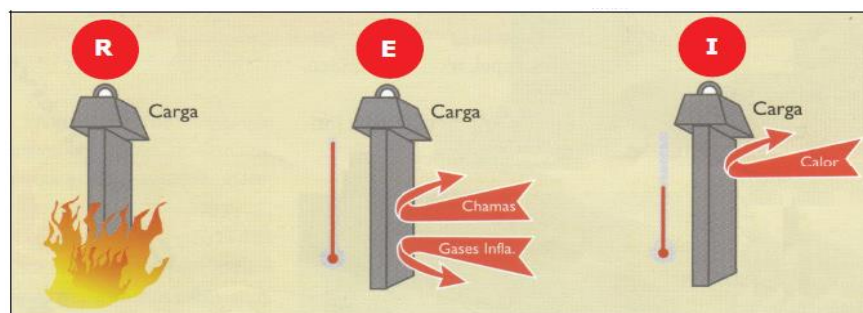


Figura 24 – Critérios principais de caracterização de resistência ao fogo [51]

Esta classificação é aplicada à maioria dos elementos de construção que devem satisfazer a uma exigência de resistência ao fogo, existe no entanto alguns critérios adicionais como:

W – Radiação

M – Resistência ao impacto

C – Fecho Automático

S – Passagem de fumos

Este sistema de classificação europeu de resistência ao fogo está também descrito em pormenor na norma europeia EN 13501-2:2007, bem como todos os ensaios aos quais devem ser sujeitos os vários elementos de construção. Esta norma especifica os procedimentos a ter em conta para a classificação de produtos e elementos construtivos, de acordo com os dados resultantes de ensaios de resistência ao fogo e emissão de fumos.

Para a classificação de resistência ao fogo, a norma EN 13501-2:2007 diferencia os elementos construtivos para o fim a que se destinam, sendo feita a seguinte diferenciação:

- ✓ Elementos com capacidade portante, tendo ou não função de corta-fogo (paredes, pisos, elementos estruturais, coberturas, etc.);

- ✓ Elementos sem capacidade portante (paredes, pisos, coberturas);
- ✓ Instalação de serviços;
- ✓ Elementos de cerramento de vãos (portas e janelas).

A qualificação dos elementos estruturais ou de compartimentação, do ponto de vista da sua resistência ao fogo, compreende, para cada um dos três critérios principais referidos, nove classes correspondentes aos escalões de tempo, em minutos, pelo limite inferior de cada escalão:

15	30	45	60	90	120	180	240	360
----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

A representação da classe de resistência ao fogo de um elemento é constituída pela identificação do símbolo que designa a qualidade do elemento, seguida da indicação do escalão de tempo em que é válida a qualificação atribuída.

Exemplos:

Pilar R 120 - Mantém durante 120 minutos a sua capacidade resistente quando sujeito aos efeitos de um incêndio normalizado.

Porta E 30 - Assegura durante 30 minutos que não há passagem de chamas, fumo ou gases de combustão da face exposta ao incêndio para a outra face. Porém, a temperatura da porta do lado oposto ao incêndio pode elevar-se significativamente.

Parede EI 60 - Assegura durante 60 minutos que não há passagem de chamas, fumo ou gases de combustão da face exposta ao incêndio para a outra face, nem a temperatura se eleva acima de determinado limite.

Capítulo 3

ENQUADRAMENTO LEGAL

3. ENQUADRAMENTO LEGAL

3.1. Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios – DL n.º

220/2008

3.1.1. Utilização Tipo

O Regime Geral De Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RG-SCIE) [9] é um regulamento aplicável a todos os edifícios e recintos que se inserem numa ou mais das doze utilizações-tipo (UT) criadas.

Aos edifícios e recintos correspondem as seguintes utilizações-tipo, (Artigo 6.º):

Tipo I «habitacionais», corresponde a edifícios ou partes de edifícios destinados a habitação unifamiliar ou multifamiliar, incluindo os espaços comuns de acessos e as áreas não residenciais reservadas ao uso exclusivo dos residentes;

Tipo II «estacionamentos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios destinados exclusivamente à recolha de veículos e seus reboques, fora da via pública, ou recintos de limitados ao ar livre, para o mesmo fim;

Tipo III «administrativos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios onde se desenvolvem actividades administrativas, de atendimento ao público ou de serviços, nomeadamente escritórios, repartições públicas, tribunais, conservatórias, balcões de atendimento, notários, gabinetes de profissionais liberais, espaços de investigação não dedicados ao ensino, postos de forças de segurança e de socorro, excluindo as oficinas de reparação e manutenção;

Tipo IV «escolares», corresponde a edifícios ou partes de edifícios recebendo público, onde se ministrem acções de educação, ensino e formação ou exerçam actividades lúdicas ou educativas para crianças e jovens, podendo ou não incluir espaços de repouso ou de dormida afectos aos participantes nessas acções e actividades, nomeadamente escolas de todos os níveis de ensino, creches, jardins-de-infância, centros de formação, centros de ocupação de tempos livres destinados a crianças e jovens e centros de juventude;

Tipo V «hospitalares e lares de idosos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios recebendo público, destinados à execução de acções de diagnóstico ou à prestação de cuidados na área da saúde, com ou sem internamento, ao apoio a pessoas idosas ou com condicionalismos decorrentes de factores de natureza física ou psíquica, ou onde se desenvolvam actividades dedicadas a essas pessoas, nomeadamente hospitais, clínicas, consultórios, policlínicas, dispensários médicos, centros de saúde, de diagnóstico, de enfermagem, de hemodiálise ou de fisioterapia, laboratórios de análises clínicas, bem como lares, albergues, residências, centros de abrigo e centros de dia com actividades destinadas à terceira idade;

Tipo VI «espectáculos e reuniões públicas», corresponde a edifícios, partes de edifícios, recintos itinerantes ou provisórios e ao ar livre que recebam público, destinados a espectáculos, reuniões públicas, exibição de meios audiovisuais, bailes, jogos, conferências, palestras, culto religioso e exposições, podendo ser, ou não, polivalentes e desenvolver as actividades referidas em regime não permanente, nomeadamente teatros, cineteatros, cinemas, coliseus, praças de touros, circos, salas de jogo, salões de dança, discotecas, bares com música ao vivo, estúdios de gravação, auditórios, salas de conferências, templos religiosos, pavilhões multiusos e locais de exposições não classificáveis na utilização-tipo X;

Tipo VII «hoteleiros e restauração», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo público, fornecendo alojamento temporário ou exercendo actividades de restauração e bebidas, em regime de ocupação exclusiva ou não, nomeadamente os destinados a empreendimentos turísticos, alojamento local, estabelecimentos de restauração ou de bebidas, dormitórios e, quando não inseridos num estabelecimento escolar, residências de estudantes e colónias de férias, ficando excluídos deste tipo os parques de campismo e caravanismo, que são considerados espaços da utilização-tipo IX;

Tipo VIII «comerciais e gares de transportes», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo público, ocupados por estabelecimentos comerciais onde se exponham e vendam materiais, produtos, equipamentos ou outros bens, destinados a ser consumidos no exterior desse estabelecimento, ou ocupados por gares destinados a aceder a meios de transporte rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial ou aéreo, incluindo as gares intermodais, constituindo espaço de interligação entre a via pública e esses meios de transporte, com excepção das plataformas de embarque ao ar livre;

Tipo IX «desportivos e de lazer», corresponde a edifícios, partes de edifícios e recintos, recebendo ou não público, destinados a actividades desportivas e de lazer, nomeadamente estádios, picadeiros, hipódromos, velódromos, autódromos, motódromos, kartódromos, campos de jogos, parques de campismo e caravanismo, pavilhões desportivos, piscinas, parques aquáticos, pistas de patinagem, ginásios e saunas;

Tipo X «museus e galerias de arte», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo ou não público, destinados à exibição de peças do património histórico e cultural ou a actividades de exibição, demonstração e divulgação de carácter científico, cultural ou técnico, nomeadamente museus, galerias de arte, oceanários, aquários,

instalações de parques zoológicos ou botânicos, espaços de exposição destinados à divulgação científica e técnica, desde que não se enquadrem nas utilizações-tipo VI e IX;

Tipo XI «bibliotecas e arquivos», corresponde a edifícios ou partes de edifícios, recebendo ou não público, destinados a arquivo documental, podendo disponibilizar os documentos para consulta ou visualização no próprio local ou não, nomeadamente bibliotecas, mediatecas e arquivos;

Tipo XII «industriais, oficinas e armazéns», corresponde a edifícios, partes de edifícios ou recintos ao ar livre, não recebendo habitualmente público, destinados ao exercício de actividades industriais ou ao armazenamento de materiais, substâncias, produtos ou equipamentos, oficinas de reparação e todos os serviços auxiliares ou complementares destas actividades.

Atendendo ao seu uso, os edifícios e recintos podem ser de utilização exclusiva, quando integrem uma única utilização-tipo, ou de utilização mista, quando integrem diversas utilizações-tipo, e devem respeitar as condições técnicas gerais e específicas definidas para cada utilização-tipo.

3.1.2. Locais de Risco

Todos os locais dos edifícios e dos recintos, com excepção dos espaços interiores de cada fogo, e das vias horizontais e verticais de evacuação são classificados, de acordo com a natureza do risco, do seguinte modo, (Artigo 10.º):

Local de risco A — local que não apresenta riscos especiais, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:

- i) O efectivo não exceda 100 pessoas;
- ii) O efectivo de público não exceda 50 pessoas;

iii) Mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reacção a um alarme;

iv) As actividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;

Local de risco B — local acessível ao público ou ao pessoal afecto ao estabelecimento, com um efectivo superior a 100 pessoas ou um efectivo de público superior a 50 pessoas, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:

i) Mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reacção a um alarme;

ii) As actividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;

Local de risco C — local que apresenta riscos agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio devido, quer às actividades nele desenvolvidas, quer às características dos produtos, materiais ou equipamentos nele existentes, designadamente à carga de incêndio;

Local de risco D — local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reacção a um alarme;

Local de risco E — local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D;

Local de risco F — local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de actividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo.

3.1.3. Categorias e Factores de Risco

As utilizações-tipo dos edifícios e recintos em matéria de risco de incêndio podem ser da 1.^a, 2.^a, 3.^a e 4.^a categoria, nos termos dos quadros I a X do anexo III do mesmo regulamento e são consideradas respectivamente de risco reduzido, risco moderado, risco elevado e risco muito elevado. São factores de risco:

Utilização-tipo I «habitacionais» — altura da utilização-tipo e número de pisos abaixo do plano de referência;

Utilização-tipo II «estacionamentos» — espaço coberto ou ao ar livre, altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência e a área bruta;

Utilizações-tipo III «administrativos» e X «museus e galerias de arte» — altura da utilização-tipo e efectivo;

Utilizações-tipo IV «escolares», V «hospitales e lares de idosos» e VII «hoteleiros e restauração» — altura da utilização-tipo, efectivo, efectivo em locais de tipo D ou E e, apenas para a 1.^a categoria, saída independente directa ao exterior de locais do tipo D ou E, ao nível do plano de referência;

Utilizações-tipo VI «espectáculos e reuniões públicas» e IX «desportivos e de lazer» — espaço coberto ou ao ar livre, altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência e efectivo;

Utilização-tipo VIII «comerciais e gares de transportes» — altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência e efectivo;

Utilização-tipo XI «bibliotecas e arquivos» — altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência, efectivo e carga de incêndio, calculada com base no valor de densidade de carga de incêndio modificada;

Utilização-tipo XII «industriais, oficinas e armazéns» — espaço coberto ou ao ar livre, número de pisos abaixo do plano de referência e densidade de carga de incêndio modificada;

O efectivo dos edifícios e recintos corresponde ao somatório dos efectivos de todos os seus espaços susceptíveis de ocupação, determinados de acordo com os critérios definidos no regulamento técnico mencionado no artigo 15.º

A densidade de carga de incêndio modificada a que se refere é determinada com base nos critérios técnicos definidos em documentos da ANPC, (Despacho 2074/2009) [37].

3.1.4. Classificação de risco

A categoria de risco de cada uma das utilizações-tipo é a mais baixa que satisfaça integralmente os critérios indicados nos quadros constantes do anexo III do Decreto-lei n.º220/2008. [9]

É atribuída a categoria de risco superior a uma dada utilização-tipo, sempre que for excedido um dos valores da classificação na categoria de risco. Nas utilizações de tipo IV, onde não existam locais de risco D ou E, os limites máximos do efectivo da 2.^a e 3.^a categoria de risco podem aumentar em 50 %.

No caso de estabelecimentos com uma única utilização-tipo distribuída por vários edifícios independentes, a categoria de risco é atribuída a cada edifício e não ao seu conjunto.

Os edifícios e os recintos de utilização mista são classificados na categoria de risco mais elevada das respectivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma dessas utilizações.

3.1.5. Anexos do DL n.º 220/2008

O DL n.º 220/2008 apresenta em anexo quadros que definem as classes de desempenho de reação e resistência ao fogo padrão dos elementos de construção de acordo com as normas comunitárias.

Apresenta também série de quadros com a classificação de resistência ao fogo para determinados elementos da construção, tendo estes, ou não, função de suporte de carga ou compartimentação, como paredes, pavimentos, cobertura, vigas, pilares, varandas, e escadas.

3.2. Regulamento Técnico Segurança Contra Incêndios em Edifícios – Portaria n.º 1532/2008

No Regulamento de segurança contra incêndios em edifícios (RSCIE) vem descrito um conjunto de regras de forma a preservar a vida humana assente nas seguintes condições:

- ✓ Permite proceder a evacuação ou salvamento dos seus ocupantes de forma segura;
- ✓ Permitir uma intervenção segura das equipas de Socorro;
- ✓ Reduzir e evitar as ocorrências de fogo;
- ✓ Limitar a propagação do fogo e fumo no edifício (interior e exterior);
- ✓ Assegurar a estabilidade do edifício por um período de tempo predeterminado;

Consoante o tipo de edifício, as estruturas destes devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, incluindo o rescaldo.

- ✓ Resistência ao fogo Paredes Exteriores Tradicionais, Artigo 7.º:
 - a) Altura não superior a 28 m – EI 30;
 - b) Altura superior a 28 m – EI 60;

- ✓ Resistência ao fogo Paredes de Empena, Artigo 9.º:
 - a) Altura do edifício inferior ou igual a 28 m – EI 60;
 - b) Altura do edifício superior a 28 m – EI 90;
- ✓ Compartimentação geral de fogo, Artigo 17.º:
 - a) Para efeitos de isolamento e protecção, os espaços ocupados por diferentes utilizações-tipo devem ser separados por paredes cuja resistência ao fogo padrão, EI , seja a mais gravosa das indicadas na tabela abaixo:

Escalões de tempo da resistência ao fogo de elementos de isolamento e protecção entre utilizações-tipo distintas				
Utilizações-tipo	Categorias de risco			
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a
I, III a X	30	60	90	120
II, XI e XII	60	90	120	180

Tabela 2 - Escalões de tempo da resistência ao fogo de elementos de isolamento e protecção entre utilizações-tipo distintas

- ✓ Isolamento e protecção dos locais de risco, Artigo 20.º
 - a) Os diferentes locais de risco devem ser separados entre eles por elementos que garantam, pelo menos, as classes de resistência ao fogo padrão indicadas na Tabela 3.

Elementos Construção	Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos de envolvente de diferentes locais de risco				
	B	C	D	E	F
Paredes não resistentes	EI 30	EI 60	EI 60	EI 30	EI 90

Tabela 3- Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos de envolvente.
(Fonte: Compilação dos QUADRO XIII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII da PT n.º1532/2008 [8])

- ✓ Protecção das vias horizontais de evacuação, Artigo 25.º

Altura	Paredes não resistentes
Pequena	EI 30
Média ou grande	EI 60
Muito grande	EI 90

Tabela 4 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de vias horizontais de evacuação interiores protegidas

- ✓ Isolamento e Protecção das Caixas dos Elevadores, Artigo 28.º

As paredes de patamar de isolamento das caixas de elevadores ou de baterias de elevadores devem:

- a) Dispor de paredes das classes de resistência padrão EI 60 quando sirvam mais do que um piso abaixo do plano de referência.

- ✓ Isolamento e protecção através de câmaras corta-fogo, Artigo 35.º

As câmaras corta-fogo devem ser separadas dos restantes espaços do edifício por elementos de construção que garantam a seguinte classe de resistência ao fogo padrão:

- a) EI 60 para as paredes não resistentes;

3.3. Normalização Europeia

As normas europeias existentes no âmbito da resistência ao fogo são a EN 13501-2, relativa à classificação segundo os ensaios de resistência ao fogo excluindo instalações de ventilação, e a EN 1363-1, relativa aos requisitos gerais para ensaio à resistência ao fogo.

A denominação dos parâmetros usados na resistência ao fogo padrão pela normalização europeia está na Tabela 5.

R	Capacidade de suporte de carga
E	Estanquidade a chama e gases quentes
I	Isolamento térmico
W	Radiação
M	Acção mecânica
C	Fecho automático
S	Passagem de fumo
P ou PH	Continuidade de fornecimento de energia e/ou de sinal
G	Resistência ao fogo de fuligem
K	Capacidade de protecção contra incêndios

Tabela 5 - Denominação das características de resistência ao fogo.

Visto já terem sido explicadas as primeiras três características anteriormente, de seguida, apenas será realizada uma breve descrição das restantes:

- A radiação, W, é a capacidade de um elemento de construção resistir à exposição ao fogo numa face, reduzindo a possibilidade de transmissão de fogo da face não exposta aos materiais adjacentes. Um elemento que cumpra os critérios de isolamento também se considera que cumpre o critério W para o mesmo período de tempo;
- A acção mecânica, M, é a capacidade de suportar impactos. Representa uma falha estrutural ou um impacto sobre o elemento durante o incêndio;
- O fecho automático, C, é a capacidade de uma porta fechar automaticamente. Aplica-se a elementos accionados automaticamente que normalmente estão abertos e que em caso de incêndio devem estar fechados. O fecho automático deve funcionar em todos os casos sem o funcionamento da energia primária;
- Estanquidade ao fumo, S, é a capacidade de um elemento reduzir ou eliminar a passagem de gases ou fumo;

- Resistência ao fogo de fuligem, G, é a capacidade das chaminés e produtos associados resistirem ao fogo de fuligem. Inclui aspectos de isolamento térmico e de estanquidade;
- A capacidade de protecção contra incêndios, K, é a protecção que um revestimento de parede ou tecto oferece frente a uma situação de incêndio.

3.3.1. Classificação segundo os ensaios de resistência ao fogo excluindo as instalações de ventilação (EN13501-2)

Na norma EN 13501-2 é designada a classificação adequada segundo os ensaios de resistência ao fogo para diferentes tipos de elementos ou produtos de construções. A Tabela 6 é relativa só a alguns elementos ou partes de obras sem função de suporte de carga e produtos a eles destinados, relevantes para a realização desta dissertação. A classificação mais adequada envolve a estanquidade a chamas e isolamento térmico e não o parâmetro da estabilidade.

Aplicável a	Divisórias "incluindo divisórias com porções não isoladas".									
Norma(s)	EN 13501-2; EN 1364-1; EN 1992-1.2; EN 1993-1.2; EN 1995-1.2; EN 1996-1.2; EN 1999-1.2									
Classificação	Duração em «minutos»									
E.....		20	30		60	90	120			
EL.....	15	20	30	45	60	90	120	180	240	
EI-M.....			30		60	90	120			
EW.....		20	30		60	90	120			
Aplicável a	Fachadas e paredes exteriores «incluindo elementos envidraçados»									
Norma(s)	EN 13501-2; EN 1364-3,4,5,6; EN 1992-1.2; EN 1993-1.2; EN 1995-1.2; EN 1996-1.2; EN 1999-1.2.									
Classificação	Duração «em minutos»									
E.....	15		30		60	90	120			
EI.....	15		30		60	90	120			
EW.....		20	30		60					
<p>Nota -A classificação é complementada por «i→o, o→i ou i↔o» consoante cumpram os critérios para o fogo interior, exterior ou para ambos.</p> <p>Onde aplicável, estabilidade mecânica significa que não há partes em colapso passíveis de causar danos pessoais durante o período da classificação E ou EI.</p>										

Tabela 6 - Elementos ou partes de obras sem funções de suporte de carga e produtos a eles destinados
(Fonte: CEN, 2003. [15])

Aplicável a	Portas e portadas corta-fogo e respectivos dispositivos de fecho «incluindo as que comportem envidraçados e ferragens».									
Norma(s)	EN 13501-2; EN 1634-1.									
Classificação	Duração em «em minutos»									
E.....	15		30	45	60	90	120	180	240	
EI.....	15	20	30	45	60	90	120	180	240	
EW.....		20	30		60					
Nota. - A classificação I é complementada pela adição dos sufixos «1» ou «2» consoante a definição do isolamento utilizada. A adição do símbolo «C» indica que o produto satisfaz também o critério de fecho automático «ensaio pass/fail» ⁽¹⁾ .										
Aplicável a	Revestimentos para paredes e coberturas.									
Norma(s)	EN 13501-2; EN 13381-8.									
Classificação	K.									
Nota. - Ensaio pass/fail.										

Tabela 7 - Elementos ou partes de obras sem funções de suporte de carga e produtos a eles destinados (Fonte CEN, 2003. [15])

3.3.2. Ensaio de resistência ao fogo – Requisitos gerais (EN1363-1)

Nesta norma são descritos os princípios gerais necessários para determinar a resistência ao fogo de elementos de construção experimentalmente, sujeitando-os a um aquecimento padronizado [15].

Esta norma contém informação relacionada com a ciência e metodologia de teste à resistência ao fogo. Os princípios gerais são comuns a muitos testes específicos, mas os detalhes variam de acordo com o elemento que está a ser testado, o princípio é dado na EN1363-1 e o detalhe é dado no método de teste específico. A curva de aquecimento usada para os testes nesta norma é designada como ISO-834, anteriormente referida. A temperatura, no forno, é controlada por termopares. Estes asseguram que a curva de aquecimento, ao longo do ensaio, respeite a regulamentação, para uma harmonização da exposição térmica entre os vários fornos usados na União Europeia [15].

De acordo com a norma EN 1363-1, os equipamentos necessários à realização de um ensaio de resistência ao fogo são, essencialmente:

- ✓ Um forno adequado à avaliação da resistência de elementos de construção quando expostos às condições de temperatura e pressão exigidos pela norma;
- ✓ Equipamento de controlo, que permita regular a temperatura dentro do forno, de acordo com as especificações contidas na presente norma;
- ✓ Equipamento para controlar e monitorizar a pressão dos gases dentro do forno;
- ✓ Um bastidor no qual seja possível construir o elemento a testar e onde se verifiquem as condições de adaptação ao forno, para que os requisitos de aquecimento, pressão e suporte da amostra sejam os apropriados;
- ✓ Equipamento para a medição da temperatura no interior do forno e na face não exposta da amostra e, para os casos em que haja necessidade, no interior da amostra;
- ✓ Equipamento para a medição da deformação da amostra em teste;
- ✓ Equipamento capaz de avaliar o isolamento às chamas e gases e o cumprimento dos critérios de comportamento;
- ✓ Aparelho para a medição do tempo decorrido;
- ✓ Equipamento de medição da concentração de oxigénio e de gases no interior do forno.

A norma EN 1363-1 descreve também os procedimentos e medidas de segurança necessárias para realização dos ensaios. Relativamente ao procedimento de ensaio é importante verificar os seguintes requisitos:

- ✓ A temperatura ambiente deve ser de $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ no início do ensaio e durante este não deve diminuir mais do que 5°C ou aumentar mais do que 20°C .

Esta temperatura é lida por um termopar a uma distância entre 1 e 3 metros da face não exposta da amostra de ensaio, para não ser afectada pela radiação térmica proveniente do forno de ensaio;

- ✓ Cinco minutos depois do início do ensaio, as temperaturas registadas em todos os termopares asseguram a correcta relação entre si;
- ✓ Assim que qualquer um dos termopares, no interior do forno, registre uma temperatura superior a 50°C, dá-se início ao ensaio. A contagem da duração do ensaio é iniciada nesse instante, e todos os sistemas, tanto automáticos como manuais, devem entrar em funcionamento nesse preciso momento;
- ✓ Durante o período de exposição ao fogo as temperaturas obtidas através dos termopares devem ser registadas em intervalos não superiores a um minuto;
- ✓ A pressão no forno deve ser medida e registada continuamente ou em intervalos não superiores a um minuto;
- ✓ A deformação produzida na amostra a ensaiar deve ser medida e registada ao longo de todo o ensaio. Esta medição é feita através de equipamento laser.

O ensaio poderá ser finalizado quando se verificar um ou mais dos seguintes aspectos de segurança:

- ✓ A segurança dos técnicos e dos equipamentos presentes no laboratório;
- ✓ A obtenção dos critérios seleccionados;
- ✓ Petição do requerente do ensaio.

A norma EN 1636-1 define também que quando o critério de capacidade resistente falha, os critérios de isolamento térmico e estanquidade são considerados automaticamente sem cumprimento. Se o critério de estanquidade não é satisfeito então exclui-se o cumprimento do critério de isolamento térmico automaticamente [15].

3.4. Eurocódigo EN 1996-1-2:2005 - Design of masonry structures

A norma EN 1996-1-2:2005 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design [7], contém informações sobre as características dos materiais usados na construção de alvenarias. Em relação ao comportamento do fogo de uma parede de alvenaria a norma diz que este depende:

- ✓ Do material da unidade de alvenaria - argila, silicato de cálcio, betão celular autoclavado ou betão de inertes leves ou densos;
- ✓ Do tipo de unidade - sólido ou oco (tipo de furação, percentagem de vazios);
- ✓ Do tipo de argamassa;
- ✓ A esbeltez da parede;
- ✓ A excentricidade de carregamento;
- ✓ A densidade das unidades;
- ✓ O tipo de construção de parede;
- ✓ O tipo e natureza de qualquer acabamento de superfície aplicado;

Na Tabela 8, compila os vários tipos de materiais usados na construção de alvenaria e suas características geométricas.

	Materials and limits for Masonry Units							
	Group 1 (all materials)		Group 2		Group 3		Group 4	
		Units	Vertical holes				Horizontal holes	
Volume of all holes (% of the gross volume)	≤ 25	clay	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
		calcium silicate	> 25; ≤ 55		not used		not used	
		concrete ^b	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
Volume of any hole (% of the gross volume)	≤ 12,5	clay	each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 30	
		calcium silicate	each of multiple holes ≤ 15 gripholes up to a total of 30		not used		not used	
		concrete ^b	each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 25	
Declared values of thickness of webs and shells (mm)	No requirement		web	shell	web	shell	web	shell
		clay	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		calcium silicate	≥ 5	≥ 10	not used		not used	
		concrete ^b	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Declared value of combined thickness ^a of webs and shells (% of the overall width)	No requirement	clay	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		calcium silicate	≥ 20		not used		not used	
		concrete ^b	≥ 18		≥ 15		≥ 45	

^a The combined thickness is the thickness of the webs and shells, measured horizontally in the relevant direction. The check is to be seen as a qualification test and need only be repeated in the case of principal changes to the design dimensions of units.

^b In the case of conical holes, or cellular holes, use the mean value of the thickness of the webs and the shells.

Tabela 8 – Grupo de unidades de alvenaria com base nas características geométricas [6]

Capítulo 4

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO FOGO PELA ASTM E119

4. CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO FOGO PELA ASTM E119

4.1. Método de Cálculo da Resistência ao fogo de Alvenarias

Devido à complexidade e ao alto custo da realização do ensaio de resistência ao fogo, alguns métodos de cálculo têm sido utilizados em substituição ao método experimental. Estes testes permitem reduzir os custos e o tempo necessário para a determinação da resistência ao fogo de elementos de construção.

O International Building Code (IBC) de 2010 diz que a classificação de resistência ao fogo de elementos de construção, pelos critérios de estanqueidade as chamas de isolamento térmico, deve ser determinada de acordo com os procedimentos de teste estabelecidos na ASTM E 119, (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials), este apresenta um método reconhecido internacionalmente que permite determinar a resistência ao fogo de forma rápida e simples.

4.1.1. Espessura Equivalente

O método referido anteriormente pode ser aplicado em alvenarias sem função estrutural e utiliza para cálculo de resistência da alvenaria a espessura equivalente da mesma, que é a espessura média do material sólido da própria parede. No caso de se tratar de uma parede maciça a espessura equivalente é igual á espessura real do bloco. No caso de paredes com espaços vazios internos, a espessura equivalente é determinada pela medição do volume total do bloco, subtraindo o volume de espaços vazios, e dividindo pela área da face exposta do bloco, conforme a equação 4.1:

$$E_{equi.s.} = \frac{V_s}{C*H} \quad (4.1)$$

Em que:

$E_{equi.s.}$ – Espessura Equivalente do bloco [m]

V_s – Volume sólido do bloco [m³]

C – Comprimento real do bloco [m]

H – Altura real do bloco [m]

No caso das paredes constituídas por tijolos cerâmicos ou blocos de betão com cavidades no seu interior, poderá ser benéfico para aumentar a resistência ao fogo, preencher essas cavidades com materiais específicos referidos na ASTM E119, como:

- ✓ Areia, cascalho, brita ou outros agregados em conformidade com a norma ASTM C33;
- ✓ A pedra-pomes, escória, xisto expandido, argila, ardósia, escória ou cinzas cumprindo com a norma ASTM C331;
- ✓ Pérlita, cumprindo com a norma ASTM C549;
- ✓ Vermiculita, cumprindo com a norma ASTM C516;

Neste caso a espessura equivalente da parede pode ser tomada como a espessura real do bloco utilizado na parede.

Quando as paredes apresentam algum revestimento, as mesmas terão uma espessura equivalente acrescida de uma parcela referente à espessura do revestimento, esta parcela depende do lado onde o revestimento está aplicado.

Se o revestimento estiver no lado não exposto ao fogo a espessura do mesmo deve ser corrigida multiplicando a espessura real por um factor de correcção aplicável, determinado a partir da Tabela 721.2.1.4 (2), do IBC.

TABLE 721.2.1.4(1)
MULTIPLYING FACTOR FOR FINISHES ON NONFIRE-EXPOSED SIDE OF WALL

TYPE OF FINISH APPLIED TO MASONRY WALL	TYPE OF AGGREGATE USED IN CONCRETE OR CONCRETE MASONRY			
	Concrete: siliceous or carbonate Masonry: siliceous or calcareous gravel	Concrete: sand lightweight concrete Masonry: limestone, cinders or unexpanded slag	Concrete: lightweight concrete Masonry: expanded shale, clay or slate	Concrete: pumice, or expanded slag
Portland cement-sand plaster	1.00	0.75 ^a	0.75 ^a	0.50 ^a
Gypsum-sand plaster or gypsum wallboard	1.25	1.00	1.00	1.00
Gypsum-vermiculite or perlite plaster	1.75	1.50	1.50	1.25

For SI: 1 inch = 25.4 mm.

a. For portland cement-sand plaster $\frac{5}{8}$ inch or less in thickness and applied directly to the masonry on the nonfire-exposed side of the wall, the multiplying factor shall be 1.00.

Tabela 9- Factor de correção para cálculo da espessura equivalente do revestimento, no lado não exposto ao fogo [1]

A Tabela 9 só contabiliza estruturas em betão, The Brick Industry Association tem uma nota técnica, que fornece uma tabela mais completa onde contempla também as estruturas de argila, Tabela 8 da Technical Note on Brick Construction nº16, Tabela 10, desta dissertação.

Type of Material Used in Slab or Wall	Type of Finish Applied to Slab or Wall			
	Portland Cement-Sand Plaster or Terrazzo	Gypsum-Sand Plaster	Gypsum-Vermiculite or Perlite Plaster	Gypsum Wallboard
Clay masonry – solid brick of clay or shale	1.00	1.25	1.75	3.00
Clay masonry – hollow brick or tile of clay or shale	0.75	1.00	1.50	2.25
Concrete masonry – siliceous, calcareous, limestone, cinders, air-cooled blast-furnace slag	1.00	1.25	1.75	3.00
Concrete masonry – made with 80% or more by volume of expanded shale, slate or clay, expanded slag, or pumice	0.75	1.00	1.25	2.25
Concrete – siliceous, carbonate, air-cooled blast-furnace slag	1.00	1.25	1.75	3.00
Concrete – semi-lightweight	0.75	1.00	1.50	2.25
Concrete – lightweight, insulating concrete	0.75	1.00	1.25	2.25

Tabela 10 - Factor de correção para cálculo da espessura equivalente do revestimento, no lado não exposto ao fogo [52]

Se o revestimento estiver no lado exposto ao fogo o tempo de contribuição do acabamento à classificação de resistência ao fogo já esta estabelecida na tabela 721.2.1.4, do IBC, Tabela 11, desta dissertação.

FINISH DESCRIPTION	TIME (minute)
Gypsum wallboard	
$\frac{3}{8}$ inch	10
$\frac{1}{2}$ inch	15
$\frac{5}{8}$ inch	20
2 layers of $\frac{3}{8}$ inch	25
1 layer $\frac{3}{8}$ inch, 1 layer $\frac{1}{2}$ inch	35
2 layers $\frac{1}{2}$ inch	40
Type X gypsum wallboard	
$\frac{1}{2}$ inch	25
$\frac{5}{8}$ inch	40
Portland cement-sand plaster applied directly to concrete masonry	See Note a
Portland cement-sand plaster on metal lath	
$\frac{3}{4}$ inch	20
$\frac{7}{8}$ inch	25
1 inch	30
Gypsum sand plaster on $\frac{3}{8}$ -inch gypsum lath	
$\frac{1}{2}$ inch	35
$\frac{5}{8}$ inch	40
$\frac{3}{4}$ inch	50
Gypsum sand plaster on metal lath	
$\frac{3}{4}$ inch	50
$\frac{7}{8}$ inch	60
1 inch	80

For SI: 1 inch = 25.4 mm.

a. The actual thickness of portland cement-sand plaster, provided it is $\frac{5}{8}$ inch or less in thickness, shall be permitted to be included in determining the equivalent thickness of the masonry for use in Table 721.3.2.

Tabela 11 – Tempo de resistência ao fogo dos revestimentos do lado exposto ao fogo [1]

4.1.2. Espessura equivalente mínima

A espessura equivalente mínima necessária de uma alvenaria, em bloco cerâmico, para atingir uma determinada resistência ao fogo para o critério de estanqueidade as chamas e isolamento térmico está representada na Tabela 12. A tabela é organizada por tipo de material, e a correspondente resistência do fogo de hora em hora. Para os períodos de resistência ao fogo que se situam entre os intervalos em horas listadas na tabela, a espessura mínima equivalente pode ser determinada por interpolação linear.

Material Type	Minimum Equivalent Thickness for Fire Resistance, in. (mm)			
	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
Solid brick of clay or shale	2.7 (69)	3.8 (97)	4.9 (124)	6.0 (152)
Hollow brick or tile of clay or shale, unfilled	2.3 (58)	3.4 (86)	4.3 (109)	5.0 (127)
Hollow brick or tile of clay or shale, grouted or filled with materials specified	3.0 (76)	4.4 (112)	5.5 (140)	6.6 (168)

Tabela 12 – Espessuras mínimas equivalentes e respectivo tempo de resistência ao fogo de paredes de alvenaria cerâmica (Fonte TABLE 721.4.1(1), IBC) [1]

A classificação de resistência ao fogo para o critério de estanqueidade as chamas e isolamento térmico de uma alvenaria em blocos de betão está representada na Tabela 13. Esta tabela está igualmente organizada por tipo de material, e a sua resistência ao fogo em vários intervalos de tempo. Para os períodos de resistência ao fogo que se situam entre os intervalos em horas listadas na tabela, a espessura mínima equivalente pode ser determinada por interpolação linear.

Aggregate Type	Minimum Equivalent Thickness for Fire Resistance Rating in. (mm)						
	½ hr	¾ hr	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Calcareous or siliceous gravel (other than limestone)	2.0 (51)	2.4 (61)	2.8 (71)	3.6 (91)	4.2 (107)	5.3 (135)	6.2 (157)
Limestone, cinders, or air-cooled slag	1.9 (48)	2.3 (58)	2.7 (69)	3.4 (86)	4.0 (102)	5.0 (127)	5.9 (150)
Expanded clay, expanded shale or expanded slate	1.8 (46)	2.2 (56)	2.6 (66)	3.3 (84)	3.6 (91)	4.4 (112)	5.1 (130)
Expanded slag or pumice	1.5 (38)	1.9 (48)	2.1 (53)	2.7 (69)	3.2 (81)	4.0 (102)	4.7 (119)

Tabela 13 - Espessuras mínimas equivalentes e respectivo tempo de resistência ao fogo de paredes de blocos de betão (Fonte: TABLE 721.3.2, IBC) [1]

Quanto à classificação da resistência ao fogo de uma parede de betão para o critério de estanqueidade as chamas e isolamento térmico esta pode ser calculada através da Tabela 14. Está igualmente organizada por tipo de material, pela avaliação da resistência do fogo em vários intervalos expressos horas. Para os períodos de resistência ao fogo que se situam entre os intervalos em horas listadas na tabela, a espessura mínima equivalente pode ser determinada por interpolação linear.

Aggregate Type	Minimum Equivalent Thickness for Fire Resistance Rating, in. (mm)				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Siliceous	3.5 (89)	4.3 (109)	5.0 (127)	6.2 (157)	7.0 (178)
Carbonate	3.2 (81)	4.0 (102)	4.6 (117)	5.7 (145)	6.6 (168)
Semi-lightweight	2.7 (69)	3.3 (84)	3.8 (97)	4.6 (117)	5.4 (137)
Lightweight	2.5 (64)	3.1 (79)	3.6 (91)	4.4 (112)	5.1 (130)

Tabela 14 - Espessuras mínimas equivalentes e respectivo tempo de resistência ao fogo de paredes de betão (Fonte: TABLE 721.2.1.1 IBC) [1]

Na Tabela 14 temos quatro tipos de betões diferentes com as suas espessuras mínimas equivalentes e respectivas resistências ao fogo em horas. Na secção 721 do IBC [1] temos as definições de cada tipo de betão:

✓ AGREGADOS SILICIOSOS

- Betão com agregados de peso normal, constituído principalmente por sílica ou outros como cálcio ou carbonato de magnésio composto, que contém mais do que 40% de quartzo, sílex [1].

✓ AGREGADOS CALCÁREOS

- Betão composto principalmente por agregados de cálcio ou de uma combinação de cálcio com magnésio carbonato, tais como pedra calcária ou dolomite, e contem 40% ou menos de quartzo, sílex, ou pederneira [1].

✓ BETÃO COM AGREGADOS SEMI-LEVES

- Betão constituído por agregados semi-leves de argila expandida, xisto, escória, ardósia, cinzas volantes sintetizado ou qualquer agregado leve naturais que tenham propriedades de resistência ao fogo e peso 1680-1920kg/m³ [1].

✓ BETÃO COM AGREGADOS LEVES

- Betão constituído por agregados leves de argila expandida, xisto, escória, ardósia, cinzas volantes sintetizado ou qualquer agregado leve naturais que tenham propriedades de resistência ao fogo e peso 1360-1840kg/m³ [1].

4.1.3. Cálculo da resistência ao fogo

4.1.3.1. Paredes compostas por uma única camada

Para uma parede simples, constituída por um só material o período de resistência ao fogo encontra-se já tabelado, no IBC. Podemos ver esses valores nas tabelas mencionadas anteriormente, Tabela 12, 13 e 14, dependendo do material em causa, e da espessura equivalente da alvenaria.

4.1.3.2. Paredes composta por várias camadas

No caso de uma parede constituída por várias camadas de materiais diferentes, o IBC indica uma equação para cálculo do tempo da resistência da parede, sendo esta:

$$R = (R_1^{0.59} + R_2^{0.59} + \dots + R_n^{0.59})^{1.7} \quad (4.2)$$

Onde:

R – Tempo de resistência ao fogo da alvenaria em minutos

R₁, R₂ e R_n = Tempo de resistência ao fogo de cada camada

No caso de a parede ter um espaço de caixa-de-ar, esta formula tem o seguinte acréscimo:

$$R = (R_1^{0.59} + R_2^{0.59} + \dots + R_n^{0.59} + A_1 + A_2 + \dots + A_n)^{1.7} \quad (4.3)$$

Onde:

R – Tempo de resistência ao fogo da parede em minutos

R₁, R₂ e R_n - tempo de resistência de cada camada (h)

A₁, A₂ e A_n – tempo de resistência ao fogo da caixa-de-ar entre duas camadas, este valor é

0.3 se a dimensão da mesma fica compreendido entre 12.7mm e 89mm. (h)

4.2. Considerações não referidas no método de cálculo analítico de resistência ao fogo descrito anteriormente

Numa análise geral ao método anteriormente descrito, (4.1.3), podemos verificar que, com exceção das caixas-de-ar existentes nas paredes duplas, o efeito da presença do ar é omissivo. O ar compreendido nessas cavidades tem influência no cálculo de resistência ao fogo.

Com o início do fogo, a temperatura dos gases no interior do compartimento submetido ao incêndio irá aumentar, apresentando uma temperatura superior à temperatura da superfície da parede exposta à acção do fogo. Com a elevação da temperatura da superfície da face exposta ao fogo devido à transferência de calor por convecção e radiação do ar, haverá uma diferença de temperaturas entre esta e a superfície não exposta ao fogo, o que provocará uma troca de calor entre as duas superfícies, através dos tijolos/blocos e demais materiais constituintes da parede [21].

Devido à presença de vazados no interior da parede, a transferência de calor ocorre de maneiras distintas ao longo da alvenaria. Nas partes maciças dos blocos, a transferência de calor ocorrerá através do mecanismo de condução e, nos vazios, ocorrerá transferência por convecção e por radiação [21].

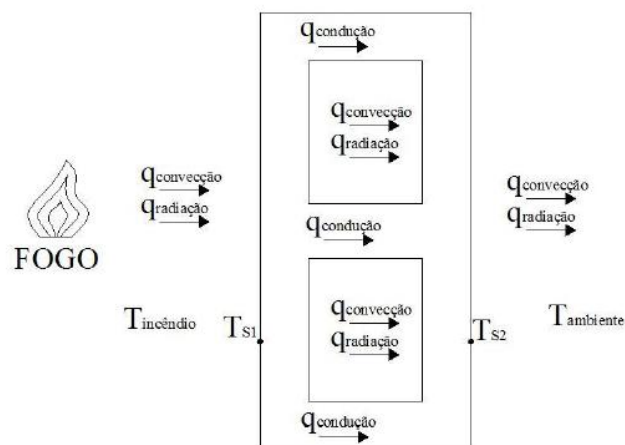


Figura 25 – Esquema da transferência de calor numa parede submetida a incêndio [21]

O tipo de tijolo/bloco utilizado, as dimensões deste, a percentagem de furação e o formato dos vazados têm influência na resistência ao fogo das paredes [21].

Com base na teoria de transferência do calor por condução, espera-se que, quanto maior a espessura da parede de alvenaria, maior seja o isolamento térmico oferecido, e por conseguinte, maior seja o valor da resistência ao fogo. No entanto, a existência de vazados no interior dos blocos altera o isolamento térmico oferecido pela parede de duas formas distintas [21]:

Primeiro devido à transmissão de calor através dos vazados ocorrer pelos mecanismos de convecção e radiação, ao invés de condução, como ocorre em partes sólidas, a condutividade térmica efectiva dos blocos será diminuída, contribuindo para o aumento do isolamento térmico, que faz aumentar a sua resistência ao fogo. Entretanto as partes vazadas dos blocos não absorvem parte do calor que atravessa a parede, como ocorre com as partes sólidas, diminuindo a quantidade total de calor absorvido pelos blocos [21].

Então, o volume de vazados, o formato e a distribuição destes no interior do bloco influenciam o isolamento térmico e consequentemente a resistência deste ao fogo. A divisão de um vazado de um bloco de alvenaria em dois outros vazados menores, que tenham a mesma dimensão total, irá proporcionar um aumento significativo na resistência ao fogo da parede, embora não altere a espessura do bloco [21].

As dimensões externas dos blocos também influenciam a resistência ao fogo da alvenaria, o tamanho do bloco determina a quantidade de juntas de argamassa de assentamento, alterando o isolamento térmico total da parede, devido às diferentes propriedades termofísicas do bloco e da argamassa [21].

Após esta análise, o método descrito no IBC, que se baseia somente na quantidade de material sólido existente nas alvenarias e que despreza qualquer efeito do ar no interior da mesma torna-se então um método inadequado.

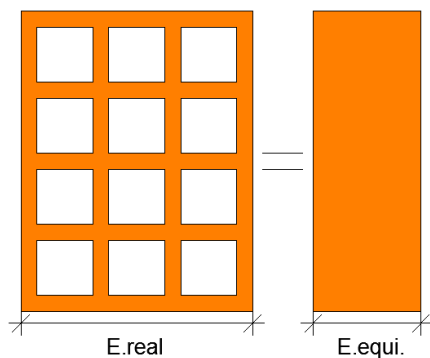


Figura 26 – Análise gráfica do método descrito no IBC

No seguimento desta abordagem a equação 4.2, referida anteriormente para cálculo da resistência ao fogo fica:

$$R = (R_1^{0.59} + R_2^{0.59} + \dots + R_n^{0.59} + R_{AR}^{0.59})^{1.7} \quad (4.4)$$

Onde:

R – Tempo de resistência ao fogo da parede [min]

R₁, R₂ e R_n - Tempo de resistência de cada camada sólida [h]

R_{ar} – Tempo de resistência da camada de ar [h]

Assim sendo, o esquema de cálculo fica:

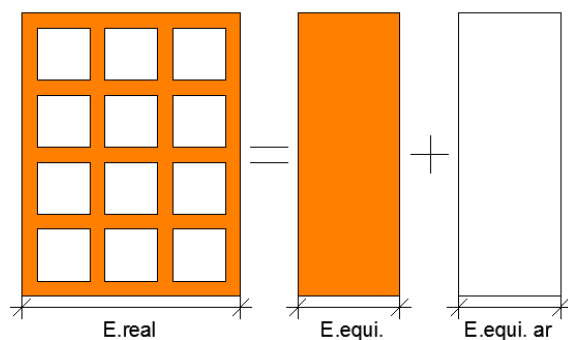


Figura 27 – Análise gráfica do método descrito no IBC nas com adição do efeito do ar

O cálculo das espessuras equivalente de ar foi feito de igual modo, ao cálculo da espessura equivalente de material sólido, alterando o volume de material sólido pelo volume de ar.

$$E_{equi.ar} = \frac{V_{ar}}{C*H} \quad (4.5)$$

Em que:

$E_{equi.ar}$ – Espessura Equivalente do bloco [m]

V_{ar} – Volume sólido do bloco [m³]

C – Comprimento real do bloco [m]

H – Altura real do bloco [m]

Após o estudo de uma série de blocos cerâmicos, maciços, perfurados, de furação vertical e horizontal, contabilizando percentagens de vazios e calculando todas as espessuras equivalentes, foi obtido um gráfico, com ajuda do programa Graphmática, onde estão as correspondências entre o tempo de resistência ao fogo do ar em relação as suas espessuras equivalentes, de modo a obter valores de acordo com o EC6, com a seguinte equação:

$$Y = e^{(1.8*x-3.32)} \quad (4.6)$$

Onde:

Y - Espessuras equivalentes de ar (mm)

X – Tempo de resistência ao fogo (h)

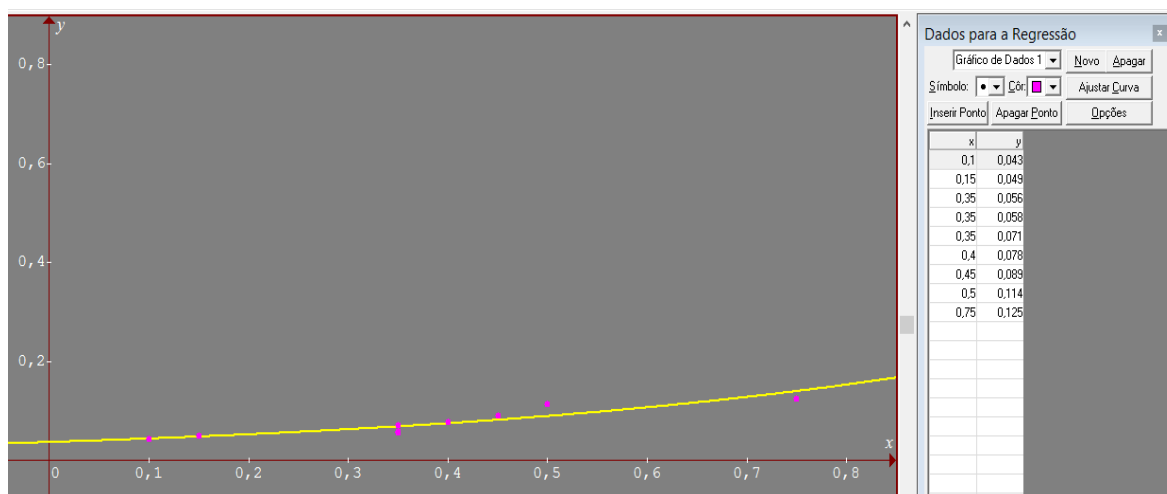


Figura 28 – Gráfico tempo resistência – espessura equivalente blocos cerâmicos

De igual modo foi analisada uma série de blocos de betão, maciços e de furação vertical, contabilizando percentagens de vazios e calculando todas as espessuras equivalentes, tendo sido obtido um gráfico, com a seguinte equação:

$$Y = 0.0516 * x + 0.0224 \quad (4.7)$$

Onde:

Y - Espessuras equivalentes de ar (mm)

X – Tempo de resistência ao fogo (h)

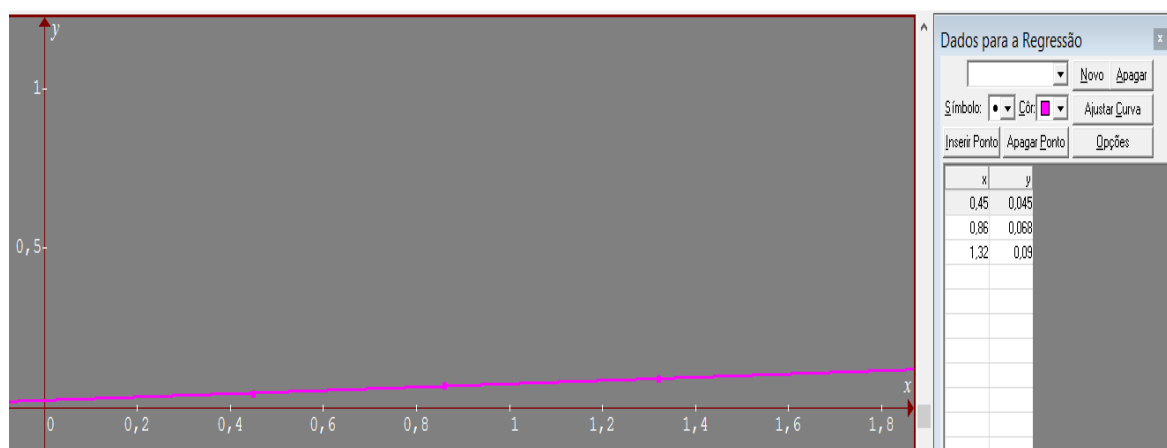


Figura 29 - Gráfico tempo resistência – espessura equivalente blocos de betão

Igualmente foram analisados uns blocos de betão leve, de furação vertical, e foi obtido o gráfico, com a seguinte equação:

$$Y = 0.0564 * x + 0.0373 \quad (4.8)$$

Onde:

Y - Espessuras equivalentes de ar (mm)

X - Tempo de resistência ao fogo (h)

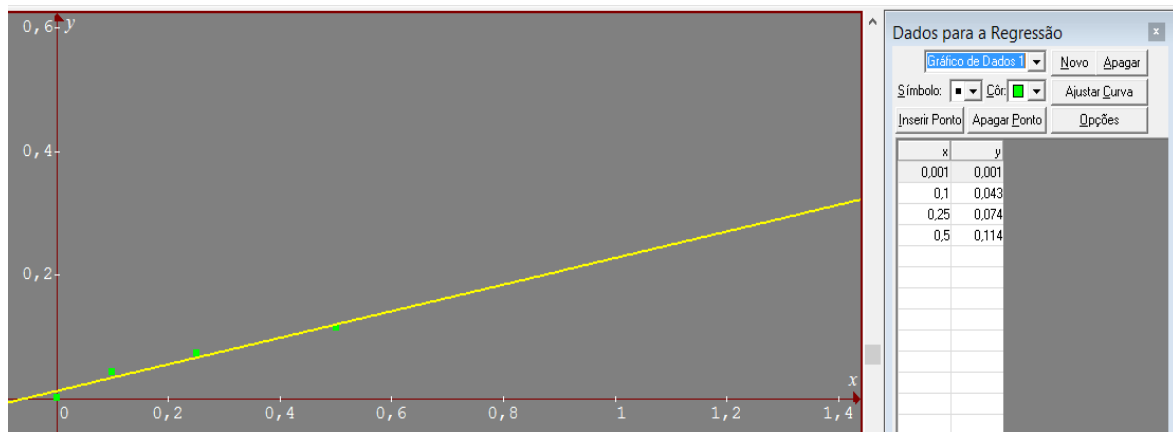


Figura 30 - Gráfico tempo resistência – espessura equivalente blocos de betão leve

4.3. Resistência ao fogo das alvenarias sem função estrutural

Uma parede de alvenaria é um componente estrutural contínuo vertical, rectilíneo ou curvilíneo, constituído pela solidarização, por meio de um ligante (argamassa), de um conjunto de elementos resistentes (unidades de alvenaria) [10].

As paredes têm exigências funcionais tais como [30]:

- ✓ Exigências de segurança;
- ✓ Exigências de saúde e de conforto;
- ✓ Exigências de economia

Ainda que muitas vezes não constituam elementos resistentes da estrutura dos edifícios, os materiais utilizados nas alvenarias devem resistir ao calor por forma a não serem danificados durante um incêndio.

Segundo a sua posição na construção, as alvenarias distinguem-se:

As paredes de fachada

São as paredes exteriores, destinadas a ser vistas depois das ruas ou dos jardins. São particularmente cuidadas tanto do ponto de vista das disposições arquitectónicas como do acabamento da execução [30]. Do seu desempenho funcional realça-se o conforto térmico, acústico, resistência ao fogo e segurança contra intrusos.

As paredes de empena

Estas paredes exteriores são construídas no limite de duas propriedades e podem ser comuns a dois imóveis vizinhos. Estas paredes são objecto de leis muito importantes sobre o seu modo de construção e sobre os direitos e deveres dos proprietários. Como não são destinadas a ser vistas o seu acabamento é geralmente muito grosseiro [30.]

As paredes divisórias

As paredes divisórias têm a função de compartimentação o que evita que os pequenos incêndios se tornem incêndios de maiores proporções. Estes elementos de construção destinam-se a separar um ou mais locais da restante edificação, proporcionam rotas de fuga seguras para os usuários da edificação e gera condições seguras para as operações de resgate de vítimas e combate ao fogo,

Actualmente em Portugal, verifica-se a existência de vários tipos de elementos para alvenaria. Geralmente os elementos mais utilizados são os tijolos cerâmicos de furação horizontal, tijolos cerâmicos para aplicação à vista, os blocos de betão de agregados correntes e leves, e mais recentemente os tijolos cerâmicos de furação vertical [13].

4.3.1. Alvenaria de tijolo cerâmico

Os tijolos cerâmicos são produzidos a partir de argila sendo dos materiais de construção mais antigos, logo a seguir à pedra e à madeira. Como material de construção que é, tem como enquadramento regulamentar a Directiva Dos Produtos De Construção 89/106/CE [35].

A norma europeia harmonizada de referência para os tijolos cerâmicos é a NP EN 771-1:2006 – Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Tijolos Cerâmicos para Alvenaria. Esta norma define as características, ensaios e critérios de aceitação aplicáveis em tijolos cerâmicos destinados à construção de alvenarias, sendo que, quando estes revelam estar em conformidade com a norma, garantem a capacidade de desempenhar a sua função segundo os níveis de desempenho declarados [17].

Os tijolos podem ser classificados como: maciços, furados e perfurados.

✓ Tijolos Maciços

Tijolo, cujo volume de argila cozida é superior a 85 % do seu volume total aparente, [15].

✓ Tijolos Furados

Tijolo com furos ou canais de qualquer forma e dimensões, paralelos às suas maiores arestas. A área de furação destes tijolos fica entre 30% e 75% do volume total do mesmo [15].

✓ Tijolos Perfurado

Tijolo com furos perpendiculares ao seu leito. A área de furação destes tijolos fica entre 15% e 50% do volume total do mesmo [15].

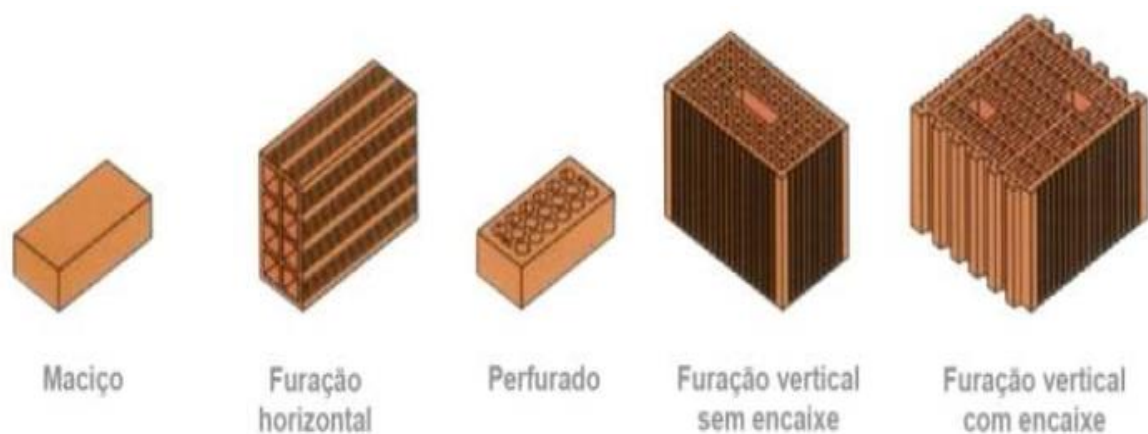









Figura 31 – Exemplos de vários tipos de tijolos [15]

As principais características intrínsecas do material cerâmico são:

Características do material cerâmico	Valores	Unidades
Massa volúmica aparente	1800 – 2000	kg/ m ³
Porosidade aberta	20 – 30	%
Absorção de água por imersão a frio	9 – 13	%
Coefficiente de saturação	0.6 – 0.8	
Absorção da água por capilaridade (1min.)	11	g/(dm ² min)
Condutibilidade térmica	1,15	w/m ² k
Coefficiente de absorção da radiação solar	0.65 – 0.8	
Dilatação térmica linear	$3.5 \cdot 10^{-6} - 5.8 \cdot 10^{-6}$	m/m °C
Expansão por humidade	0.9 – 1.7	mm/m
Humidade em equilíbrio (20 °C e 80 % HR)	0.11	%
Módulo de elasticidade longitudinal	8300	MPa
Coefficiente de Poisson	0,2	

Tabela 15 – Características dos tijolos cerâmicos [13]

Na Tabela 16 sintetizam-se as características mais relevantes dos tijolos correntes no mercado português.

Formas	Dimensões (cm)	Peso aproximado (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão ⁽²⁾ (MPa)
	30*20*22 ⁽¹⁾	7,0-11,0	55-70	1,9-3,9
	30*20*15 ⁽¹⁾	5,0-7,0	50-65	2,5-4,9
	30*20*11 ⁽¹⁾	4,0-6,0	50-65	2,8-5,2
	30*20*9	3,5-5,5	40-60	3,0-5,7
	30*20*7 ⁽¹⁾	3,0-5,0	40-60	3,7-7,0
	30*20*4	2,0-3,0	40-50	6,0-7,0
	22*11*7 ⁽¹⁾	1,5-2,5	25-40	8,0-9,5
	22*11*5	1,2-1,7	25-40	8,0-9,5
	22*11*7 ⁽¹⁾	2,5-3,5	0	17,0-48,0

Observações:

⁽¹⁾ Dimensões de acordo com a NP 834 [16];

⁽²⁾ Resistência à compressão é expressa em termos de área aparente, não normalizada pelos factores de forma.

Tabela 16 – Características mais importantes dos tijolos cerâmicos mais correntes em Portugal [13]

O anexo B do EC6 - parte 2, fornece uma série de tabelas com as espessuras mínimas de alvenaria e o tempo de resistência ao fogo correspondentes.

A tabela 17 transcreve a tabela N.B.1.1 do IBC, é para paredes divisórias, sem função estrutural, de blocos cerâmicos. Esta tabela junta todos os grupos de tijolos (maciço, perfurado, com furação vertical ou horizontal). Nas linhas 1.1.1 e 1.1.2 estão as espessuras mínimas de alvenaria, para cada intervalo de tempo de resistência ao fogo, sendo 1.1.1 alvenaria sem reboco, e 1.1.2 alvenaria com reboco dos dois lados conforme o EC6 especifica.

Table N.B.1.1 Clay Masonry Minimum thickness of separating non-loadbearing walls
(Criterion EI) for fire resistance classifications

row number	material properties: gross dry density ρ [kg/m ³]	Minimum wall thickness (mm) t_f for fire resistance classification EI for time (minutes) $t_{6,d}$						
		30	45	60	90	120	180	240
1.	Group 1S, 1, 2, 3 and 4							
1.1	mortar : general purpose, thin layer, lightweight $500 \leq \rho \leq 2\,400$							
1.1.1		60/100	90/100	90/100	100/140	100/170	160/190	190/210
1.1.2		(50/70)	(50/70)	(60/70)	(70/100)	(90/140)	(110/140)	(170)

Tabela 17 – Espessuras mínimas de alvenaria cerâmica, sem função estrutural, e suas classificações de resistências ao fogo [7]

Aplicando o método de cálculo desenvolvido, chegou-se aos seguintes resultados:

- Tijolo Cerâmico maciço (Grupo 1, de acordo com EC6)

O grupo 1 descrito no EC6 diz respeito a tijolos cerâmicos maciços com uma percentagem de furação inferior a 25%. As características usadas nos cálculos foram retiradas das fichas técnicas da Cerâmica Vale da Gândara [39].



Figura 32 – Tijolo maciço em estudo [39]

Exemplo prático 1:

Alvenaria cerâmica maciça com uma espessura de 110 mm. Visto que um tijolo pode ser considerado maciço para percentagens de furação inferiores a 25%, foi considerado que o este tijolo tem uma percentagem de furação de 20%.

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

$$E_{equi.s.} = \frac{0.8 * (0.228 * 0.050 * 0.108)}{(0.228 * 0.050)} = 0.086 \text{ m}$$

b) Pela Tabela 12 a espessura de bloco cerâmico maciço com 0.086 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 1.6 h (R_1).

c) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5):

$$E_{equi.ar.} = \frac{0.2 * (0.228 * 0.050 * 0.108)}{(0.228 * 0.050)} = 0.022 \text{ m}$$

d) Pela equação (4.6) uma espessura equivalente de ar com 0.022 m o ar não tem qualquer influência na resistência ao fogo (R_2).

e) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (1.61^{0.59} + 0^{0.59})^{1.7} = 1.61 \text{ h} = 97 \text{ min}$$

Tijolo tradicional maciço		
Medidas (cm)	230*50*110	230*70*110
C (m)	0,228	0,228
H (m)	0,050	0,070
L (m)	0,108	0,108
Volume (m ³)	0,0012	0,0017
Volume de vazios (m ³)	0,0002	0,0003
% Furação	20,0	20,0
V sólidos	0,0010	0,0014
Espessura Equivalente Sólidos (m)	0,086	0,086
Espessura Equivalente Ar (m)	0,022	0,022
Período de resistência (h)	1,61	1,61
Período resistência (min)	97	97
Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90
EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 90

Tabela 18 – Resistência ao fogo dos tijolos cerâmicos maciços

- Tijolo Cerâmico perfurado (Grupo 2, de acordo com EC6)

O grupo 2 descrito no EC6 diz respeito a tijolos cerâmicos perfurado com uma percentagem de furação superior a 25% e inferior ou igual a 55%. Estes tijolos são também designados por tijolos perfurados. As características usadas nos cálculos foram retiradas das fichas técnicas da Cerâmica Vale da Gândara [40].



Figura 33 – Tijolo cerâmico perfurado em estudo [40]

Exemplo prático 2:

Alvenaria cerâmica perfurada com uma espessura de 115 mm, e com uma percentagem de furação de 43%.

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

$$E_{equi.s.} = \frac{0.57 * (0.237 * 0.070 * 0.115)}{(0.237 * 0.070)} = 0.066 \text{ m}$$

- a) Pela Tabela 12 uma espessura maciça de bloco cerâmico com 0.086 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 0.96 h (R_1).

- b) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5):

$$E_{equi.ar.} = \frac{0.43 * (0.237 * 0.070 * 0.115)}{(0.237 * 0.070)} = 0.049 \text{ m}$$

- c) Pela equação (4.6) uma espessura equivalente de ar com 0.049 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 0.17 h. (R_2).

- d) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (0.96^{0.59} + 0.17^{0.59})^{1.7} = 1.58 \text{ h} = 95 \text{ min}$$

Tijolo cerâmico Perfurado			
Medidas (cm)	24*50*11,5	24*70*11,5	28*50*13,5
C (m)	0,237	0,237	0,274
H (m)	0,050	0,070	0,050
L (m)	0,115	0,115	0,132
Volume (m ³)	0,0014	0,0019	0,0018
Volume de vazios (m ³)	0,0006	0,0008	0,0008
% Furação	43	43	45
% Sólidos	57	57	55
Volume de sólidos (m ³)	0,0008	0,0011	0,0010
Espessura equivalente Sólido (m)	0,066	0,066	0,074
Espessura equivalente Ar (m)	0,049	0,049	0,058
Período de resistência (h)	1,56	1,58	2,09
Período resistência (min)	94	95	125
Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90	EI 120
EN 1996-1-2:2005	EI 90		EI 120

Tabela 19- Resistência ao fogo dos tijolos cerâmicos perfurados

- Tijolo Cerâmico de furação vertical (Grupo 3, de acordo com EC6)

O grupo 3 descrito no EC6 diz respeito a tijolos cerâmicos de furação vertical com uma percentagem de furação superior a 25% e inferior ou igual a 70%. Estes tijolos são designados como tijolos térmicos. As características usadas nos cálculos foram retiradas das fichas técnicas da Preceram [41].

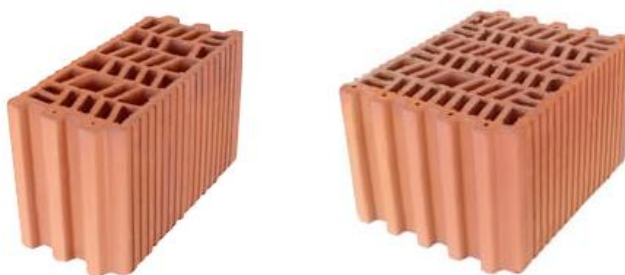


Figura 34 – Tijolo cerâmico de furação vertical em estudo [41]

Exemplo prático 3:

Alvenaria cerâmica de furação vertical com uma espessura de 140 mm, com uma percentagem de furação de 49%.

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

$$E_{equi.s.} = 0.071 \text{ m}$$

- b) Pela Tabela 12 uma espessura maciça de bloco cerâmico com 0.71 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 1.07 h (R_1).

- c) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5):

$$E_{equi.ar.} = 0.069 \text{ m}$$

- d) Pela equação (4.6) uma espessura equivalente de ar com 0.069 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 0.36 h. (R_2).

- e) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (1.07^{0.59} + 0.36^{0.59})^{1.7} = 2.17 \text{ h} = 130 \text{ min}$$

Paredes simples de tijolo térmico				
Medidas (cm)	30*20*14	30*20*19	30*20*24	30*20*30
C (m)	0,290	0,290	0,290	0,290
H (m)	0,189	0,189	0,189	0,189
L (m)	0,140	0,189	0,240	0,290
Volume (m³)	0,0077	0,0104	0,0132	0,0159
Volume de vazios (m³)	0,0038	0,0053	0,0070	0,0092
% Furação	49	52	53	58
V sólidos	0,0039	0,0050	0,0062	0,0067
Espessura equivalente Sólida (m)	0,071	0,091	0,113	0,123
Espessura equivalente Ar (m)	0,069	0,098	0,127	0,167
Período de resistência (h)	2,07	3,25	4,49	5,20
Período resistência (min)	130	195	269	312
Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 180	EI 240	EI 240
EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 180	EI 240	EI 240

Tabela 20 - Resistência ao fogo dos tijolos cerâmicos com furação vertical

- Tijolo Cerâmico de furação horizontal (Grupo 4, de acordo com EC6)

O grupo 4 descrito no EC6 diz respeito a tijolos cerâmicos de furação horizontal com uma percentagem de furação superior a 25% e inferior ou igual a 70%. Estes tijolos são muito utilizados em Portugal. As características usadas nos cálculos foram retiradas das fichas técnicas da Preceram [42].



Figura 35 – Tijolos cerâmicos de furação horizontal em estudo [42]

Exemplo prático 4:

Alvenaria cerâmica de furação horizontal com uma espessura de 150 mm, com uma percentagem de furação de 53%.

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

$$E_{equi.s.} = 0.068 \text{ m}$$

- b) Pela Tabela 10 uma espessura maciça de bloco cerâmico com 0.086 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 0.98 h (R_1).

- c) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5):

$$E_{equi.ar.} = 0.078 \text{ m}$$

- d) Pela equação (4.6) uma espessura equivalente de ar com 0.029 m corresponde a um tempo de resistência ao fogo de 0.42 (R_2).

- e) Aplicando a equação (4.4):

$$R = (1.61^{0.59} + 0^{0.59})^{1.7} = 2.2 \text{ h} = 130 \text{ min}$$

Tijolo cerâmico de furação horizontal					
Medidas (cm)	30*20*7	30*20*9	30*20*11	30*20*15	30*20*22
C (m)	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290
H (m)	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189
L (m)	0,070	0,088	0,106	0,146	0,220
Volume (m ³)	0,0038	0,0048	0,0058	0,0080	0,0121
Volume de vazios (m ³)	0,0016	0,0023	0,0031	0,0043	0,0069
% Furação	42	48	53	53	57
Volume de sólidos (m ³)	0,0022	0,0025	0,0027	0,0037	0,0052
Espessura equivalente Sólida (m)	0,041	0,045	0,050	0,068	0,095
Espessura equivalente Ar (m)	0,029	0,043	0,056	0,078	0,125
Período de resistência (h)	0,6	1,1	1,5	2,2	4,0
Período resistência (min)	36	64	90	130	243
Resistência ao fogo padrão	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 240
EN 1996-1-2:2005	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 240

Tabela 21 – Resistência ao fogo dos tijolos de furação horizontal

4.3.2. Alvenarias com blocos de betão

Os blocos de betão, como material de construção para alvenarias, surgiram em Portugal durante a década de 60. O fabrico de blocos de betão era realizado em instalações de pequena dimensão e produzidos em linhas de pequena série [13].

Hoje em dia, verificamos a existência de empresas industriais que investiram em tecnologias de produção de grande série e com níveis de automatização actualizados, importadas de outros países, nomeadamente de França, sendo a forma geométrica dos produtos fabricados cópias dos produzidos nos países de origem através das máquinas e moldes.

Características mais importantes dos blocos de betão correntes em Portugal encontram-se na tabela 22.







Formas	Dimensões	Peso aproximado	Furação	Resistência à compressão
	(cm)	(kg)	(%)	(MPa)
	40*20*30	20-29	45-65	3.5-4.5
	50*20*30			
	40*20*25	20-25	45-65	3.0-4.5
	50*20*25			
	40*20*20	15-22	40-50	3.0-4.5
	50*20*20			
	40*20*15	12-18	40-50	4.0-5.0
	50*20*15			
	40*20*12	12-15	40-50	4.0-5.0
	50*20*12			
	40*20*10	10-13	30-50	4.0-5.0
	50*20*10			
	40*20*8	8-12	30-50	4.0-6.0
	50*20*8			
	40*20*5	8-10	-	6.0-8.0
	50*20*5			
Observações:				
A resistência à compressão é expressa em termos de área aparente, não normalizada pelos factores de forma.				

Tabela 22 - Características mais importantes dos blocos de betão correntes em Portugal [13]

Na tabela 23, onde transcreve a tabela N.B.2.1 do EC6 anexo B, estão registadas as resistências ao fogo para paredes divisórias sem função estrutural, de blocos de betão com agregados de sílica. Esta tabela junta todos os grupos de tijolos maciços e furados. Nos pontos 1.1.1 e 1.1.2 temos as espessuras mínimas de alvenaria de modo a resistir ao fogo o tempo correspondente, sendo 1.1.1 alvenaria sem reboco, e 1.1.2 alvenaria com reboco dos dois lados conforme o EC6 especifica.

row number	material properties: gross density ρ [kg/m³]	Minimum wall thickness (mm) t_f for fire resistance classification EI for time (minutes) $t_{f,d}$						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Group 1S, 1, 2 and 3							
1.1	mortar : general purpose, $600 \leq \rho \leq 2\,400$							
1.1.1		70	70/90	70/90	100	100/140	140/170	140/200
1.1.2		(50)	(70)	(70)	(90)	(90/140)	(140)	(170)
1.2	mortar : thin layer $600 \leq \rho \leq 2\,400$							
1.2.1		70	70/90	70/90	100	100/140	140/170	140/200
1.2.2		(50)	(70)	(70)	(100)	(100/140)	(140)	(170)

Tabela 23 - Espessuras mínimas de alvenaria de betão com agregados de sílica, sem função estrutural, e suas classificações de resistências ao fogo [7]

o Bloco Betão Maciço

Nas fichas técnicas da SPRAL foram retiradas as características dos blocos utilizados para cálculo da resistência ao fogo dos blocos de betão. Na variedade de produtos da marca foi estudado o designado, Bloco Resistente é um elemento pré-moldado em betão de agregados que se adapta a qualquer tipo de construção de alvenaria, desde a concepção de um simples muro de vedação a aplicações mais exigentes. A sua elevada resistência à compressão, bom comportamento ao fogo e menor poder de absorção de água são características que tornam este bloco preferível ao tradicional tijolo cerâmico [43].

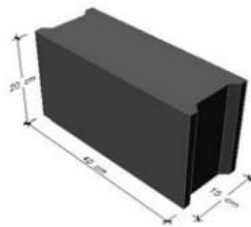


Figura 36 - Blocos de betão maciço em estudo [43]

Exemplo prático 5:

Alvenaria de betão maciço com uma espessura de 150 mm foi considerado uma percentagem de furação de 0%.

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

Visto que se trata de um bloco totalmente maciço:

$$E_{equi.s.} = E_{bloco} = 0.150 \text{ m}$$

- b) Pela Tabela 13 a uma espessura com 0.150 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 3.68 h (R_1).

- c) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5):

$$E_{equi.ar.} = 0 \text{ m}$$

- d) Aplicando a equação (4.4):

$$R = (3.68^{0.59} + 0^{0.59})^{1.7} = 3.6 \text{ h} = 221 \text{ min}$$

Características	Bloco de betão maciços		
Medidas (m)	0,4*0,2*0,10	0,4*0,2*0,15	0,4*0,2*0,20
Volume (m³)	0,008	0,012	0,016
% Furação	0,0	0,0	0,0
% Sólidos	100	100,0	100,0
Volume sólidos (m³)	0,008	0,012	0,016
Espessura equivalente (m)	0,100	0,150	0,200
Espessura equivalente (mm)	100	150	200
Período de resistência (h)	1,781	3,68	4,00
Período de resistência (min)	107	221	240
Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 180	EI 240
EN 1996-1-2	EI 90	EI 180	EI 240

Tabela 24 - Resistências ao fogo dos blocos de betão maciços

o Bloco Betão Furado

As características dos blocos utilizados para cálculo da resistência ao fogo foram retiradas das fichas técnicas da SPRAL. [44]

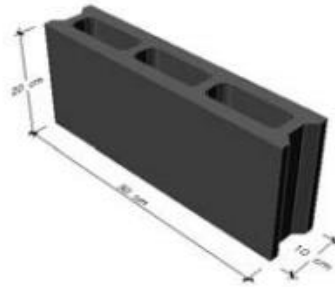


Figura 37 - Blocos de betão furado em estudo [44]

Exemplo prático 6:

Alvenaria de betão furado com uma espessura de 150 mm com uma percentagem de furação de 51%.

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

$$E_{equi.s.} = \frac{0.49 * 0.495 * 0.195 * 0.150}{0.495 * 0.195} = 0.074 \text{ m}$$

- b) Pela Tabela 13 a uma espessura com 0.077 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 1.07 h (R_1).

c) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5):

$$E_{\text{equi.ar.}} = \frac{0.51 * 0.495 * 0.195 * 0.150}{0.495 * 0.195} = 0.077 \text{ m}$$

d) Pela equação (4.6) uma espessura equivalente de ar com 0.077 m corresponde a um tempo de resistência ao fogo de 1.05 h (R_2).

e) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (1.07^{0.59} + 1.05^{0.59})^{1.7} = 3.44 \text{ h} = 207 \text{ min}$$

Características	Paredes de bloco de betão furado				
Medidas (m)	50*20*10	50*20*15	50*20*20	50*20*22	50*20*28
C (m)	0,495	0,495	0,495	0,495	0,495
H (m)	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195
L (m)	0,099	0,15	0,199	0,25	0,28
Volume (m ³)	0,010	0,014	0,019	0,024	0,027
% Furação	47,0	51,0	60,0	60,0	60,0
% Sólidos	53,0	49,0	40,0	40,0	40,0
Volume sólidos (m ³)	0,005	0,007	0,008	0,010	0,011
Volume Ar	0,004	0,007	0,012	0,014	0,016
Espessura Equivalente Bloco (m)	0,052	0,074	0,080	0,100	0,112
Espessura Equivalente Ar (m)	0,047	0,077	0,119	0,150	0,168
Período de resistência (h)	1,61	3,44	4,88	6,77	8,07
Período de resistência (min)	97	207	293	406	484
Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
EN 1996-1-2	EI 90	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 25 – Resistência ao fogo dos blocos de betão furados

4.3.3. Alvenarias de blocos de betão leve

Das unidades elementares de betão leve com inertes artificiais, existem os blocos de betão constituídos por argila expandida. Argila expandida é um agregado leve com formas arredondadas, utilizado na Construção Civil com a finalidade de substituir os agregados convencionais.

Estes agregados leves obtêm-se a partir da cozedura de argilas que favorecem a expansão seguido de um rápido arrefecimento, obtendo-se assim um produto superficialmente duro, e leve, porque fica com uma estrutura interna celular [49].

Devido a essas características o produto possui baixos coeficientes de condutividade, o que permite uma alta resistência ao fogo e evita a propagação de chamas.



Figura 38 - Grânulos de argila expandida [49]

Agregados leves como argila expandida ou xisto oferecem maior resistência à transferência de calor devido ao ar confinado nesse tipo de agregado. Blocos fabricados com esses materiais necessitam menor espessura para alcançar o mesmo desempenho ao fogo do que agregados mais pesados.

De acordo com a unidade fabril, o Bloco Leve Leca, normal ou de encaixe, quando comparado com o bloco de betão de agregados correntes, apresenta maior isolamento térmico e uma maior leveza [45].

Esta última característica permite o aligeiramento das alvenarias e a consequente redução das cargas actuantes nas estruturas não esquecendo a maior facilidade de manuseamento na sua concepção e a sua maior leveza.

A tabela 26 transcreve a tabela N.B.1.3 do IBC, é para paredes divisórias, sem função estrutural, de blocos de betão leve. Esta tabela junta todos os grupos de tijolos (maciço, perfurado, com furação vertical ou horizontal).

Nas linhas 2.1.1 e 2.1.2 estão as espessuras mínimas de alvenaria, para cada intervalo de tempo de resistência ao fogo, sendo 2.1.1 alvenaria sem reboco, e 2.1.2 alvenaria com reboco dos dois lados conforme o EC6 especifica.

Table N.B.3.1 Dense and lightweight aggregate concrete masonry minimum thickness of separating non-loadbearing separating walls (Criteria EI) for fire resistance classifications

2	Group 2 units mortar: general purpose, thin layer, lightweight							
2.1	lightweight aggregate $2 \leq f_k \leq 15$ $240 \leq \rho \leq 1\,200$							
2.1.1		50	70	70 / 100	70 / 90	100 / 140	100 / 200	140/200
2.1.2		(50)	(50)	(50/90)	(70)	(70/140)	(90 / 100)	(100 / 200)
2.2	dense aggregate $6 \leq f_k \leq 35$ $720 \leq \rho \leq 1\,650$							
2.2.1		50	70	70 / 100	70 / 90	90 / 200	100 / 200	125 / 200
2.2.2		(50)	(50)	(50 / 70)	(70)	(90/140)	(90 / 140)	(100/ 200)

Tabela 26 – Espessuras mínimas de alvenaria de betão leve, sem função estrutural, e suas classificações de resistências ao fogo [7]

As construções de alvenaria a partir destes blocos podem ser revestidas ou permanecer à vista, dependendo da sua utilização em paredes exteriores ou interiores.

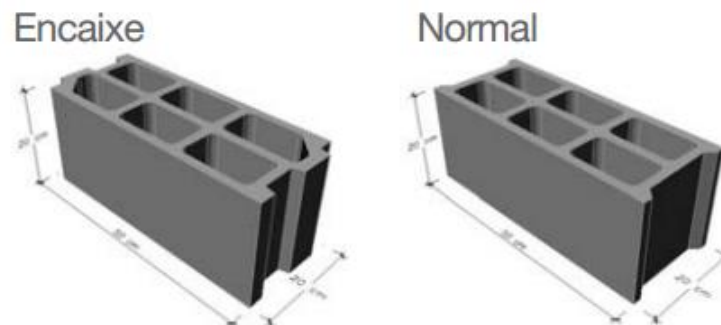


Figura 39 - Blocos de betão leve, normal e de encaixe em estudo [45]

A resistência ao fogo padrão obtida através das características retiradas de cada ficha técnica e com o método descrito anteriormente está na seguinte tabela. [45]

Exemplo prático 7:

Alvenaria de betão leve furado com uma espessura de 150 mm com uma percentagem de furação de 49%

- a) Cálculo da espessura equivalente de material sólido pela equação (4.1):

$$E_{equi.s.} = \frac{0.51 * 0.500 * 0.200 * 0.150}{0.500 * 0.200} = 0.077 \text{ m}$$

- b) Pela Tabela 13 a uma espessura com 0.077 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 1.28 h (R_1)

- c) Cálculo da espessura equivalente de ar pela equação (4.5)

$$E_{equi.ar.} = \frac{0.49 * 0.500 * 0.200 * 0.150}{0.500 * 0.200} = 0.074 \text{ m}$$

- d) Pela equação (4.6) uma espessura equivalente de ar com 0.074 m corresponde a um tempo de resistência ao fogo de 0.65 h (R_2).

- e) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (1.28^{0.59} + 0.65^{0.59})^{1.7} = 3.44 \text{ h} = 207 \text{ min}$$

Características	Paredes de bloco de betão leve			
Tipo	Normal	Encaixe		
Medidas (m)	0,5*0,2*0,1	0,5*0,2*0,15	0,5*0,2*0,2	0,5*0,2*0,28
Volume (m³)	0,010	0,015	0,020	0,028
% Furação	43,0	49,0	57,0	57,0
% Sólidos	57,0	51,0	43,0	43,0
Volume sólidos (m³)	0,006	0,008	0,009	0,012
Volume ar	0,004	0,007	0,011	0,016
Espessura equivalente bloco (m)	0,057	0,077	0,086	0,120
Espessura equivalente ar (m)	0,043	0,074	0,114	0,160
Espessura equivalente (mm)	57	77	86	120
Período de resistência (h)	1,21	3,06	3,57	5,93
Período de resistência (min)	73	184	214	356
Resistência ao fogo padrão	EI 60	EI 180	EI 180	EI 240
EN 1996-1-2	EI 60	EI 180	EI 180	EI 240

Tabela 27 - Resistência ao fogo padrão dos blocos de betão leve

4.3.4. Paredes Leves

Apesar de não ser uma alvenaria o sistema de paredes leves que consiste numa estrutura metálica em aço galvanizado enformado a frio onde são aparafusadas placas de gesso cartonado são abordadas nesta dissertação devida á sua boa resistência ao fogo. A parte interna da parede normalmente preenchida com Lã de Vidro, Lã de Rocha ou outro material isolante por forma a otimizar a função térmico-acústica, e a sua resistência ao fogo.

Este sistema permite um melhor aproveitamento do espaço, um acabamento perfeito, reduz peso ao edifício e é rápido de executar.

As placas de gesso laminado, também conhecidas como placas de gesso cartonado é um material incombustível, resistente ao fogo, ao impacto e livre de substâncias nocivas.

São constituídas basicamente por um núcleo de gesso revestido nas suas faces com uma lâmina de cartão [15].

Existem várias empresas no mercado com várias soluções de placas de gesso, com maior importância para esta dissertação temos as placas de gesso cartonado com características de resistência ao fogo. Para obter estas placas é misturado juntamente com o gesso, fibras de vidro e depois revestidas as suas faces com lâmina de cartão [48].



Figura 40 – Placas de gesso cartonado resistente ao fogo

Na figura 41 onde se ilustra a tabela 721.2.1.4 (2) do IBC, podemos verifica a diferença dos tempos de resistência ao fogo de uma placa de gesso “normal” e uma placa com propriedades resistentes ao fogo.

FINISH DESCRIPTION	TIME (minute)
Gypsum wallboard	
$\frac{3}{8}$ inch	10
$\frac{1}{2}$ inch	15
$\frac{5}{8}$ inch	20
2 layers of $\frac{3}{8}$ inch	25
1 layer $\frac{3}{8}$ inch, 1 layer $\frac{1}{2}$ inch	35
2 layers $\frac{1}{2}$ inch	40
Type X gypsum wallboard	
$\frac{1}{2}$ inch	25
$\frac{5}{8}$ inch	40

Figura 41 – Tempo de resistência de placas de gesso cartonado [1]

Como podemos verificar, na Figura 41, uma placa de gesso “normal” com espessura de $\frac{1}{2}$ inch (12.7 mm), tem um tempo de resistência de 15 minutos, uma placa da mesma espessura e com propriedades de resistência ao fogo que eles denominam como placa tipo X tem uma resistência de 25 minutos.

O aço enformado a frio é o termo usado para definir os produtos fabricados por dobragem de chapa de aço de pequena espessura (quinagem ou laminagem a frio) tirando partido da ductilidade do aço [14].

Os perfis de aço galvanizado enformados a frio proporcionam elevada esbelteza das paredes, elevada relação entre a largura e a espessura das mesmas. Apesar destas vantagens, estes perfis têm uma grande desvantagem perante o fogo, a sua alta condutividade térmica que lhe dá uma baixa resistência ao fogo quando não protegidos termicamente.

Com o aumento da temperatura algumas propriedades mecânicas como tensão de cedência e o módulo de elasticidade deterioram-se rapidamente. Actualmente a EN1993-1-2 menciona uma limitação para a temperatura crítica de 350°C para elementos de aço enformado a frio, o que vários autores acham limitada [14].

Pela curva mais usada que relaciona tempos e temperaturas, ISO 834, verificamos que essa temperatura é atingida em menos de 5 minutos. (Tabela 28)

Time (minutes)	ISO 834 Temperature (°C)
0	20
5	576
10	678
30	842
60	945
120	1049
240	1153
480	1257

Tabela 28 – Tabela com os valores de tempo e temperatura da curva ISO 834

Em relação ao isolante, temos como o mais aplicado a lã de rocha que é produzida a partir de matérias-primas abundantes na natureza entre elas, basalto e calcário [15].

Após sua fusão a 1500°C, estes minerais são transformados em fibras por centrifugação. É um material com incombustibilidade aprovado, em todos os testes internacionais. Quando em contacto com chama não queima nem liberta fumos tóxicos.

Estes materiais têm uma alta resistência à temperatura e ao fogo, o ponto de fusão das fibras é acima de 1100°C e a temperatura máxima recomendada para uma operação contínua é de 750°C.

Pela mesma ordem de ideias através da curva tempo - temperatura, ISO 834, podemos verificar que os painéis de lã mineral resistem a um período 15 minutos. (Tabela 28)



Figura 42 – Placas de lã de rocha.

A grande desvantagem deste tipo de divisórias leves é a estrutura de fixação, não é demais lembrar que o gradiente térmico desenvolvido durante um incêndio causa expansões térmicas distintas em cada elemento estrutural, as placas de gesso têm um bom comportamento face ao fogo, mas os perfis não, assim sendo, o painel fixado na estrutura desenvolve efeitos de restrição que podem afectar a estabilidade do mesmo [14].

O método de cálculo da resistência ao fogo de divisórias leves, com painéis em gesso cartonado, descrito no IBC, diz que deve ser contabilizado no cálculo a resistência do painel exposto ao fogo, o seu sistema de fixação e o isolante. Como descrito anteriormente a temperatura crítica do aço galvanizado encontra-se nos 350°C, quando este deixa de estar protegido pelo painel e isolante e fica exposto ao fogo, essa temperatura é atingida ao fim de 5 minutos, pela curva tempo-temperatura, por isso, nos cálculos apresentados de seguida não foi contabilizada a resistência ao fogo do sistema de fixação.

As resistências ao fogo obtidas para quatro casos diferentes de divisórias, estão representadas na Tabela 29.

Para as divisórias simples foram usadas as placas de 12.7 mm e 15.9 mm com características específicas de resistência ao fogo, mencionadas no IBC, excluímos como referido o sistema de suporte, e contabilizamos como isolante lã mineral.

Para as divisórias múltiplas foram também usadas duas placas de 12.7 mm e 15.9 mm com características específicas de resistência ao fogo. Para a determinação da resistência ao fogo das divisórias múltiplas o tempo de resistência ao fogo foi obtido pela equação (4.9).

$$y = e^{(0.015 \cdot x + 2.1)} \quad (4.9)$$

Y – espessura do conjunto de placas

X – tempo de resistência ao fogo

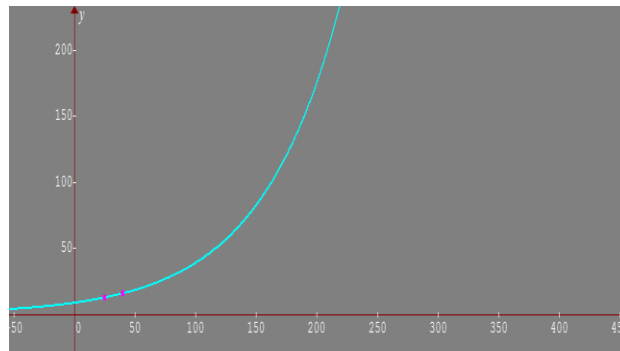


Figura 43 – Gráfico usado para determinação da resistência de placas múltiplas em gesso cartonados

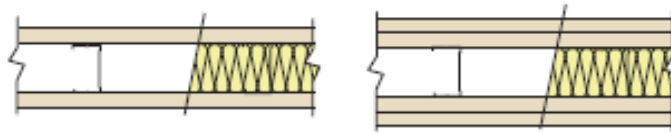


Figura 44 - Esquema das divisórias simples e múltiplas analisadas [46]

Exemplo prático 8:

Divisória simples com uma espessura total de 72 mm, 2 placas de 13mm e enchimento com 46 mm de lã mineral.

- a) Tempo de resistência ao fogo da placa exposta ao fogo R_1 , pela Tabela 41:

$$R_1 = 25 \text{ min} = 0.41 \text{ h}$$

- b) Tempo de resistência ao fogo do enchimento R_2 .

$$R_2 = 15 \text{ min} = 0.25 \text{ h}$$

- c) Tempo de resistência ao fogo do sistema de fixação R_3 , como referido, não foi contabilizado.

$$R_3 = 0 \text{ min} = 0 \text{ h}$$

d) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (0.4^{0.59} + 0.3^{0.59})^{1.7} = 1.1 \text{ h} = 64 \text{ min}$$

Exemplo prático 9:

Divisória múltipla com uma espessura total de 98 mm, 4 placas de 13 mm e enchimento com 46 mm de lã mineral.

a) Tempo de resistência ao fogo, do conjunto de placa expostas ao fogo R_1 , pela equação (4.9):

$$0.098 = e^{(0.015 \cdot x + 2.1)} \Leftrightarrow X = 70.9 \text{ min} = 1.2 \text{ h}$$

b) Tempo de resistência ao fogo do enchimento R_2 :

$$R_2 = 15 \text{ min} = 0.25 \text{ h}$$

c) Tempo de resistência ao fogo do sistema de fixação R_3 , como referido não foi contabilizado.

$$R_3 = 0 \text{ min} = 0 \text{ h}$$

d) Aplicando a equação (4.4):

$$R = (1.2^{0.59} + 0.3^{0.59})^{1.7} = 2.1 \text{ h} = 126 \text{ min}$$

	Divisórias simples			
Espessura da placa (mm)	12,7	15,9	12,7 + 12,7	15,9 + 15,9
Período de resistência Placa (h)	0,4	0,7	1,2	1,4
Período resistência isolante (h)	0,3	0,3	0,3	0,3
Período resistência Sistema (h)	1,1	1,4	2,1	2,4
Período resistência Sistema (min)	67	85	126	145
Resistência ao fogo padrão	EI 60	EI 60	EI 120	EI 120
Uralita	EI 60	EI 60	EI 120	EI 120
British - gypsum	EI 60	*	EI 120	*
Knauf	EI 30	EI 30	**	**
* A British Gypsum não fabrica placas resistentes ao fogo com espessura superior a 12,5 mm				
** A marca Knauf não apresenta resultados para uso de dupla placa				

Tabela 29 – Resistência ao fogo dos sistemas simples e múltiplos em gesso cartonado

Fazendo uma comparação com os valores obtidos nos cálculos e os valores tabelados dos ensaios efectuados por algumas empresas, podemos concluir que o método apresentado é adequado e fiável.

Verificamos também que a empresa Knauf insere no seu catálogo valores mais conservativos para as suas placas resistentes ao fogo.

4.4. Influência dos revestimentos usados na resistência ao fogo

4.4.1. Revestimento de argamassa de cimento

A argamassa para além de ser o elemento de ligação da alvenaria, é também utilizada para reboco da mesma. É constituída pela mistura de um ligante, de areia e de água, podendo ser classificada segundo a sua massa volúmica, natureza do ligante, tipo de aplicação [24].

Segundo a massa volúmica, as argamassas podem ser correntes (massa volúmica superior a 1500 Kg/m³) ou leves (massa volúmica inferior a 1500 Kg/m³). O ligante utilizado é o cimento (Portland ou outro). A dosagem de cimento, para se obter uma argamassa compacta, deve em conjunto com a água de amassadura preencher os vazios da areia [24].

A argamassa tem de ser adequada ao tipo de reboco que se pretende e o suporte deverá também estar preparado para que se consiga uma boa aderência da argamassa na parede.

O reboco aplicado nas paredes de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto tem a função de formar uma superfície impermeabilizante quanto a água e uma superfície lisa para receber acabamentos como tintas, texturas, papéis de parede [24].

Nas tabelas seguintes, estão indicadas as resistências ao fogo obtidas nas alvenarias cerâmicas com recobrimentos de argamassa de cimento.

- Alvenarias cerâmicas

Exemplo prático 10:

Neste exemplo prático é utilizado o mesmo exemplo prático 1 mas agora com revestimento de argamassa de cimento em ambos os lados com uma espessura de 2 cm.

- a) Cálculo da espessura equivalente de reboco na face não exposta ao fogo, Tabela 9:

$$E_{\text{equi.reb.}} = 1 * 0.02 = 0.020 \text{ m}$$

- b) Adicionar á espessura equivalente de reboco a espessura equivalente do bloco cerâmica calculado na alínea a) do exemplo prático 1.

$$E_{\text{equi.reb.+bloco}} = 0.020 + 0.086 = 0.106 \text{ m}$$

- c) Pela Tabela 10 uma espessura maciça de bloco cerâmico com 0.106 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 2.33 h (R_1)

- d) Como visto no exemplo prático 1 o ar não tem quaisquer efeito.

- e) Pela tabela 9 é retirado o tempo de resistência ao fogo para o revestimento no lado exposto ao fogo.

$$R_2 = 10 \text{ min} = 0.17 \text{ h}$$

- f) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (2.33^{0.59} + 0^{0.59})^{1.7} + 0.17 = 2.5 \text{ h} = 150 \text{ min}$$

Alvenaria cerâmico maciço rebocada com argamassa			
Características		230*50*110	230*70*110
S/ Revestimento	Período resistência (min)	96	96
	Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 90
C/ Revestimento	Período resistência (min)	150	150
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 120
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 120

Tabela 30 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica maciça com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

Alvenaria cerâmica perfurada rebocado com argamassa				
Características		230*50*110	230*70*110	280*50*135
S/ Revestimento	Período resistência (min)	94	94	125
	Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90	EI 120
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 90	EI 120
C/ Revestimento	Período resistência (min)	138	138	187
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 120	EI 180
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 120	EI 180

Tabela 31 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica perfurada com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

Alvenaria cerâmica com furação vertical rebocada com argamassa					
Características		30*20*14	30*20*19	30*20*24	30*20*30
S/ Revestimento	Período resistência (min)	135	195	269	312
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 180	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 180	EI 240	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	198	247	320	363
	Resistência ao fogo padrão	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 32 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica com furação vertical com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

Alvenaria cerâmica com furação horizontal rebocada com argamassa						
Características		30*20*7	30*20*9	30*20*11	30*20*15	30*20*22
S/ Revestimento	Período resistência (min)	36	64	90	133	243
	Resistência ao fogo padrão	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	84	114	142	210	287
	Resistência ao fogo padrão	EI 60	EI 90	EI 120	EI 180	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 60	EI 90	EI 120	EI 180	EI 240

Tabela 33 – Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica tradicional com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

○ Alvenarias de betão

Alvenaria de betão maciço rebocado com argamassa			
Características		50*20*10	50*20*15
S/ Revestimento	Período resistência (min)	221	240
	Resistência ao fogo padrão	EI 180	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 180	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	253	253
	Resistência ao fogo padrão	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 240	EI 240

Tabela 34 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão maciça com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

Alvenaria de betão furado rebocado com argamassa						
Características		50*20*10	50*20*15	50*20*20	50*20*22	50*20*28
S/ Revestimento	Período resistência (min)	91	183	240	291	324
	Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	150	242	305	365	396
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 35 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

○ Alvenaria de betão leve

Alvenaria de betão leve rebocada com argamassa					
Características		50*20*10	50*20*15	50*20*20	50*20*28
S/ Revestimento	Período resistência (min)	73	184	214	356
	Resistência ao fogo Padrão	EI 60	EI 180	EI 180	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 60	EI 180	EI 180	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	135	283	317	433
	Resistência ao fogo Padrão	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 36 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão leve com revestimento de 2 cm de argamassa de cimento, em cada face

4.4.2. Revestimento a gesso

Trocar o reboco comum de argamassa de cimento pelo de gesso tem como principal vantagem a rapidez da obra e a economia de materiais. A aplicação do gesso deve ser feita diretamente sobre a alvenaria, que tem de estar limpa e sem irregularidades.

Para garantir um bom acabamento, é importante contratar mão-de-obra especializada, o uso do gesso requer cuidados, pois é um material extremamente sensível a água e portanto o seu uso deve ser feito em locais secos e bem protegidos contra humidade, chuva e outras formas de contacto com água.

Basicamente apresenta como desvantagens os seguintes itens:

- ✓ Não pode ser usado em paredes exteriores ou pelo menos não se elas estiverem expostas a chuva;
- ✓ Não pode ser usado em paredes que possam estar em contacto com humidade;
- ✓ Não pode ser lavado;
- ✓ É menos resistente que o reboco comum;

Contudo, o uso de um ou outro acabamento na parede depende de muitos fatores que devem ser considerados no projeto. Nas tabelas seguintes, estão indicadas as resistências ao fogo obtidas nas alvenarias cerâmicas e betão já referidas nesta dissertação, com recobrimentos em gesso.

- o Alvenaria cerâmica

Exemplo prático 8:

Neste exemplo prático é utilizado o mesmo exemplo prático 1 mas agora com revestimento de argamassa de gesso em ambos os lados com uma espessura de 1.5 cm.

- a) Cálculo da espessura equivalente de reboco na face não exposta ao fogo, Tabela 7:

$$E_{equi.reb.} = 1.25 * 0.015 = 0.0187 m$$

- b) Adicionar á espessura equivalente de reboco a espessura equivalente do bloco cerâmica calculado na alínea a) do exemplo prático 1.

$$E_{\text{equi.reb.+bloco}} = 0.0187 + 0.086 = 0.105 \text{ m}$$

- c) Pela Tabela 10 uma espessura maciça de bloco cerâmico com 0.105 m corresponde um tempo de resistência ao fogo de 2.3 h (R_1)

- d) Como visto no exemplo prático 1 o ar não tem quaisquer efeito.

- e) Pela tabela 9 é retirado o tempo de resistência ao fogo para o revestimento no lado exposto ao fogo.

$$R_2 = 35 \text{ min} = 0.58 \text{ h}$$

- f) Aplicando a equação (4.4)

$$R = (2.3^{0.59} + 0^{0.59})^{1.7} + 0.58 = 2.88 \text{ h} = 173 \text{ min}$$

Alvenaria cerâmica maciça rebocada com gesso			
Características		230*50*110	230*70*110
S/ Revestimento	Período resistência (min)	96	96
	Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 90
C/ Revestimento	Período resistência (min)	173	173
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 120
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 120

Tabela 37 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica maciça com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face

Alvenaria cerâmica perfurado rebocada com gesso				
Características		230*50*110	230*70*110	280*50*135
S/ Revestimento	Período resistência (min)	94	94	125
	Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90	EI 120
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 90	EI 120
C/ Revestimento	Período resistência (min)	163	163	212
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 120	EI 180
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 120	EI 180

Tabela 38 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica perfurada com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face

Alvenaria cerâmica com furação vertical rebocada com gesso					
Características		30*20*14	30*20*19	30*20*24	30*20*30
S/ Revestimento	Período resistência (min)	135	195	269	312
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 180	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 180	EI 240	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	223	272	345	388
	Resistência ao fogo padrão	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 39 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica com furação vertical com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face

Alvenaria cerâmica com furação horizontal rebocada com gesso						
Características		30*20*7	30*20*9	30*20*11	30*20*15	30*20*22
S/ Revestimento	Período resistência (min)	36	64	90	133	243
	Resistência ao fogo padrão	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	84	114	142	210	287
	Resistência ao fogo padrão	EI 90	EI 90	EI 120	EI 180	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 90	EI 120	EI 180	EI 240

Tabela 40 - Resistência ao fogo de alvenaria cerâmica com furação horizontal com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face

o Alvenaria de betão

Alvenaria de betão maciço rebocada com gesso			
Características		50*20*10	50*20*15
S/ Revestimento	Período resistência (min)	221	240
	Resistência ao fogo padrão	EI 180	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 180	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	275	275
	Resistência ao fogo Padrão	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 240	EI 240

Tabela 41 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão maciça com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face

Alvenaria de betão rebocada com gesso						
Características		50*20*10	50*20*15	50*20*20	50*20*22	50*20*28
S/ Revestimento	Período resistência (min)	91	183	240	291	324
	Resistência ao fogo Padrão	EI 90	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 90	EI 180	EI 240	EI 240	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	160	253	307	371	406
	Resistência ao fogo Padrão	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 42 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão furada com revestimento de 1.5 cm de gesso, em cada face

o Alvenaria de betão leve

Alvenaria de betão leve rebocada com gesso					
Características		50*20*10	50*20*15	50*20*20	50*20*28
S/ Revestimento	Período resistência (min)	73	184	214	356
	Resistência ao fogo padrão	EI 60	EI 180	EI 180	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 60	EI 180	EI 180	EI 240
C/ Revestimento	Período resistência (min)	120	258	292	408
	Resistência ao fogo padrão	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240
	EN 1996-1-2:2005	EI 120	EI 240	EI 240	EI 240

Tabela 43 - Resistência ao fogo de alvenaria de betão leve com revestimento de 1.5 cm de gesso em cada face

Capítulo 5

CONCLUSÕES

5. CONCLUSÕES

Do estudo efectuado ao método de cálculo analítico da resistência ao fogo de alvenarias, sem função estrutural, constituídas por blocos cerâmicos e de betão, descrito no IBC e de acordo com a ASTM E119 verificou-se, que este, não é a melhor opção para se estimar a resistência ao fogo, uma vez que despreza o efeito do ar no interior das mesmas.

No que diz respeito às exigências de resistência ao fogo a satisfazer pelas alvenarias descrita no EC6, verificou-se que apesar de este dividir os vários elementos em quatro grupo, conforme as suas características e percentagens de furação, aquando a classificação das resistências ao fogo estão todos agrupados num só grupo, dão a mesma classificação a um tijolo maciço e um furado desde que tenha a mesma espessura, como verificado em todo o desenvolvimento desta dissertação, isto não faz qualquer sentido.

Nesta dissertação foi desenvolvido o método analítico descrito e obteve-se uma correlação entre a espessura equivalente de ar existente numa alvenaria e a sua resistência ao fogo. Verificou-se que a existência de vazados e de como estes se distribuem no bloco são factores essenciais na resistência ao fogo da alvenaria.

Das várias alvenarias estudadas verificou-se, uma maior influência do ar, nas alvenarias constituídas por blocos cerâmicos de furação vertical. Estes são caracterizados por um elevado número de pequenos alvéolos no seu interior, e este tipo de geometrias contribui para o aumento do isolamento térmico, que faz aumentar a resistência ao fogo da alvenaria. Ao contrário dos blocos cerâmicos de furação vertical, os blocos de betão têm grandes alvéolos no seu interior, isto contribui para um menor isolamento térmico e por consequência uma menor quantidade total de calor absorvido pelos blocos, o mesmo acontece com blocos de betão com agregados leves.

No que diz respeito aos rebocos verificou-se uma melhor eficiência do reboco em gesso comparado com o reboco de argamassa de cimento. Os valores da resistência ao fogo aumentam cerca de 50% quando revestidos com argamassa de cimento e 70% quando revestidos com gesso, logo, o emprego de revestimentos é uma boa solução para aumentar a resistência ao fogo.

Para as alvenarias constituídas com painéis de gesso cartonado, o método descrito no IBC, mostrou-se adequado para a determinação da resistência ao fogo da mesma. Apesar da desvantagem do sistema de fixação, estas conseguem uma resistência elevada com uma espessura reduzida.

Anexos

CATÁLOGO

ALVENARIA CERÂMICA

ALVENARIA BETÃO

ALVENARIA BETÃO LEVE

ALVENARIA EM PAINÉIS DE GESSO CARTONADO


Filipa Sofia Nunes Oliveira

Julho 2014

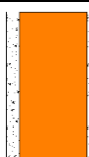
1 Alvenarias Cerâmicas

Tijolo De Barro Tradicional Maciço


Alvenaria Simples Sem Revestimento

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	228	50	108	20	1900	> 45	-	EI 90
	228	70	108	20	1900	> 45	-	EI 90

Alvenaria Simples Com Revestimento de Argamassa (Nas duas faces)

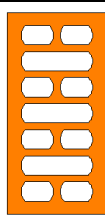
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	228	50	108	20	1900	> 45	20	EI 120
	228	70	108	20	1900	> 45	20	EI 120

Alvenaria Simples Com Revestimento de gesso (Nas duas faces)

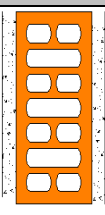
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	228	50	108	20	1900	> 45	15	EI 120
	228	70	108	20	1900	> 45	15	EI 120

Tijolo De Barro Perfurado

Alvenaria Simples Sem Revestimento


	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	237	50	115	43	1200	> 45	-	EI 90
	237	70	115	43	1200	> 45	-	EI 90
	237	50	132	45	1200	> 45	-	EI 120

Alvenaria Simples Com Revestimento De Argamassa (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	237	50	115	43	1200	> 45	20	EI 120
	237	70	115	43	1200	> 45	20	EI 120
	237	50	132	45	1200	> 45	20	EI 180


1 Alvenarias Cerâmicas

Alvenaria Simples Com Revestimento De Argamassa (Nas duas faces)

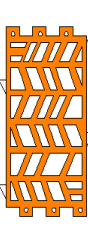
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	237	50	115	43	1200	> 45	15	EI 120
	237	70	115	43	1200	> 45	15	EI 120
	237	50	132	45	1200	> 45	15	EI 180

Tijolo De Barro Com Furação Vertical


Alvenaria Simples Sem Revestimento

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	294	189	140	39	935	3,0	-	EI 90
	294	189	189	42	907	3,0	-	EI 180
	294	189	233	46	860	3,0	-	EI 240
	294	189	289	46	860	3,0	-	EI 240

Alvenaria Simples Com Reboco de Argamassa (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	294	189	140	39	935	3,0	20	EI 180
	294	189	189	42	907	3,0	20	EI 240
	294	189	233	46	860	3,0	20	EI 240
	294	189	289	46	860	3,0	20	EI 240


Alvenaria Simples Com Reboco de Gesso (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	294	189	140	39	935	3,0	15	EI 180
	294	189	189	42	907	3,0	15	EI 240
	294	189	233	46	860	3,0	15	EI 240
	294	189	289	46	860	3,0	15	EI 240

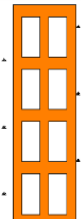
1 Alvenarias Cerâmicas

Tijolo De Barro Tradicional De Furação Horizontal


Alvenaria Simples Sem Revestimento

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	290	189	70	42	818	1,9	-	EI 30
	290	189	90	48	746	1,7	-	EI 60
	290	189	106	53	670	1,5	-	EI 90
	290	189	146	53	650	1,5	-	EI 120
	290	189	220	57	633	1,5	-	EI 240

Alvenaria Simples Com Revestimento de Argamassa (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	290	189	70	42	818	1,9	20	EI 60
	290	189	90	48	746	1,7	20	EI 90
	290	189	106	53	670	1,5	20	EI 120
	290	189	146	53	650	1,5	20	EI 180
	290	189	220	57	633	1,5	20	EI 240

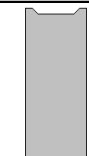
Alvenaria Simples Com Revestimento de Gesso (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	290	189	70	42	818	1,9	15	EI 90
	290	189	90	48	746	1,7	15	EI 90
	290	189	106	53	670	1,5	15	EI 120
	290	189	146	53	650	1,5	15	EI 180
	290	189	220	57	633	1,5	15	EI 240

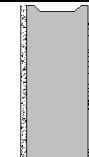
2 Alvenarias De Betão

Bloco De Betão Maciço

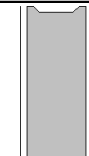
Alvenaria Simples Sem Revestimento

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	400	195	150		2300	25,0	-	EI 180
	400	195	200	0	2300	25,0	-	EI 240

Alvenaria Simples Com Revestimento De Argamassa (Nas duas faces)


	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	400	195	150		2300	25,0	20	EI 240
	400	195	200	0	2300	25,0	20	EI 240

Alvenaria Simples Com Revestimento De Gesso (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	400	195	150		2300	25,0	15	EI 240
	400	195	200	0	2300	25,0	15	EI 240

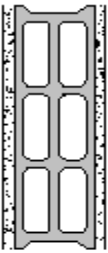
Bloco De Betão Furado

Divisórias Simples Sem Revestimento

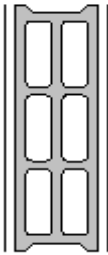
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	495	195	99	47	2140	4,0	-	EI 90
	495	195	150	51	2050	4,2	-	EI 180
	495	195	199	60	1890	3,8	-	EI 240
	495	195	250	60	-	5,0	-	EI 240
	495	195	280	60	2440	4,2	-	EI 240

2 Alvenarias De Betão

Alvenaria Simples Com Revestimento De Argamassa (Nas duas faces)

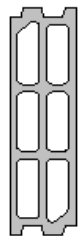
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	495	195	99	47	2140	4,0	20	EI 120
	495	195	150	51	2050	4,2	20	EI 240
	495	195	199	60	1890	3,8	20	EI 240
	495	195	250	60	-	5,0	20	EI 240
	495	195	280	60	2440	4,2	20	EI 240

Alvenaria Simples Com Revestimento De Gesso (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	495	195	99	47	2140	4,0	15	EI 120
	495	195	150	51	2050	4,2	15	EI 240
	495	195	199	60	1890	3,8	15	EI 240
	495	195	250	60	-	5,0	15	EI 240
	495	195	280	60	2440	4,2	15	EI 240

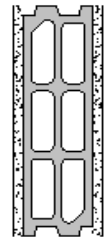
Bloco De Betão Leve Furado

Divisórias Simples Sem Revestimento

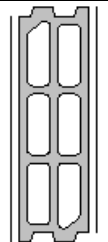
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	500	200	100	43	1150	2,0	-	EI 60
	500	195	150	49	1251	2,9	-	EI 180
	500	195	200	57	1200	2,2	-	EI 180
	500	195	280	57	1256	2,8	-	EI 240

2 Alvenarias De Betão

Alvenaria Simples Com Revestimento De Argamassa (Nas duas Faces)

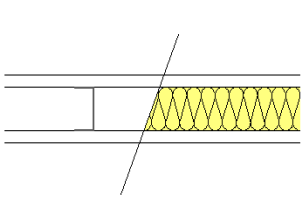
	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	500	200	100	43	1150	2,0	20	EI 120
	500	195	150	49	1251	2,9	20	EI 240
	500	195	200	57	1200	2,2	20	EI 240
	500	195	280	57	1256	2,8	20	EI 240

Alvenaria Simples Com Revestimento De Gesso (Nas duas faces)

	Medidas (mm)			Percentagem furação (%)	Massa volúmica (Kg/m³)	Resistência Compressão (N/mm²)	Revestimento (mm)	Resistência ao Fogo
	C	H	L					
	500	200	100	43	1150	2,0	15	EI 120
	500	195	150	49	1251	2,9	15	EI 240
	500	195	200	57	1200	2,2	15	EI 240
	500	195	280	57	1256	2,8	15	EI 240

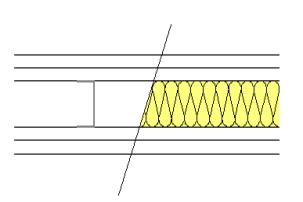
Painéis De Gesso Cartonado

Divisórias Simples Sem Revestimento

	Sistema			Placas	Massa superficial (Kg/m ³)	Resistência ao Fogo
	Espessura Total	Espessura Enchimento	Tipo enchimento			
	72	46	LM	2 x 13	25	EI 60
	76	46	LM	2 x 15	25	EI 60

Painéis De Gesso Cartonado

Divisórias Múltiplas Sem Revestimento

	Sistema			Placas	Massa superficial (Kg/m ³)	Resistência ao Fogo
	Espessura a Total	Espessura Enchimento	Tipo enchimento			
	98	46	LM	4 x 13	25	EI 120
	106	46	LM	4 x 15	25	EI 120

Notas:

As propriedades físicas das placas de gesso cartonado foram retiradas do catálogo da Uralita.

LM – Lã Mineral (tanto lã de vidro como lã de rocha) de valor mínimo $\lambda=0.036$ W/m²K e espessura variável, necessário para encher a alma do perfil.

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Building Code®, 2010. International Code Council, Inc., Country Club Hills, IL.
- [2] Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, (ACI 216.1-97 / TMS 0216.1-97). The Masonry Society, Boulder, CO,.
- [3] ASTM E119-07, Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. (2007).
- [4] NP EN 1991-1-2:2010; “Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-2: Acções gerais – Acções em estruturas expostas ao fogo”, Março de 2009.
- [5] NP EN 1992-1-2:2010; “Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1- 2: Regras gerais – Verificação de resistência ao fogo”, Julho de 2008.
- [6] EN 1996-1-1:2005; “Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures”, Novembro de 2005
- [7] EN 1996-1-2:2005; “Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design”, Maio de 2005
- [8] PORTARIA N°. 1532/2008 – Regulamento técnico de segurança contra incêndio em edifícios.
- [9] DECRETO-LEI N°. 220/2008 – Regime jurídico de segurança contra incêndios em edifícios.
- [10] Reis, A. d. (2011). Determinação de cenário de incêndio em edifícios. Universidade de Aveiro, Departamento Engenharia Civil.
- [11] Seito, A. I. (2008). A Segurança Contra Incêndio No Brasil. Projeto Editora

- [12] Santos, C. C. (2012). Propriedades Mecânicas Residuais Após Incêndio de Betões Normais. Universidade Coimbra.
- [13] Pereira, M.F. (2005). Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural. Universidade do Minho
- [14] Saulo Almeida, João Rodrigues, Jorge Neto. (2013). Estudo experimental do comportamento a temperaturas elevadas de elemento de aço formado a frio submetidos à compressão com restrição ao alongamento térmico. 2º CILASCI - Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança contra incêndios, Coimbra.
- [15] Silva, C. M. (2010). Avaliação da resistência ao fogo de produtos de construção. Universidade De Aveiro.
- [16] Inácio, P. J. (2011). Evolução da temperatura ambiente em construções sujeitas ao fogo. Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa.
- [17] Aboobaker, K. I. (2010). Desenvolvimentos Recentes na Normalização de Tijolos Cerâmicos De Alvenaria. Universidade Nova de Lisboa.
- [18] Dias, A. B. (2002). Seminário sobre Paredes de Alvenaria - Construção em tijolos cerâmicos: Das exigências normativas do produto à prática de aplicação. CTVC.
- [19] Rigão, A. O. (2012). Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas. Santa Maria, RS, Brasil.
- [20] Gonçalves, M. R. (2008). Consequências físicas do novo Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios Em Edifícios – Área da proteção passiva. FEUP.
- [21] Rosemann, F. (2011). Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico. Unicersidade Federal de Santa Catarina.

- [22] Alves, D. M. (2012). Métodos simplificados para avaliação de resistência ao fogo de vigas de betão armado – Avaliação numérica com o modelo SiFiRe. FEUP.
- [23] Desconhecido. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. ISEL
- [24] Oliveira, P. R. (1999). Exemplos de utilização de alvenaria estrutural. Guimarães, Universidade do Minho.
- [25] Rodrigues, P.F. (2009). Plano de emergência de um edifício público. FEUP
- [26] Pina dos Santos, C. A. (2011). A classificação europeia de reacção ao fogo dos produtos de construção, (ITE 50). LNEC
- [27] Barradas, R. S. (2011). Análise da reacção ao fogo em edifícios comerciais do centro da cidade do Rio de Janeiro: Um estudo da evolução dos materiais combustíveis. Universidade Federal Do rio de janeiro.
- [28] Mitidieri, M. L. Verificação do comportamento frente ao fogo de materiais utilizados no acabamento e revestimento das edificações – Ensaio de reacção ao fogo
- [29] Decreto – Lei n.º 64/90 - Aprova o Regulamento de Segurança contra Incêndio em Edifícios de Habitação.
- [30] Lança, P. Processos de construção – Paredes. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja.
- [31] Gonçalves, T. F. (2008). Resistência ao Fogo de Estruturas de Betão. Instituto Superior Técnico de Lisboa
- [32] Morales, G., Campos, A., Faganello, A. P. (2011). A acção do fogo sobre os componentes de concreto. Semina: Ciências exactas e tecnológicas, Londrina.

- [33] Directiva 2000/147/CE relativa à classificação dos produtos de construção no que respeita ao desempenho em matéria de reacção ao fogo.
- [34] Directiva 2003/632/CE relativa à classificação dos produtos de construção no que respeita ao desempenho em matéria de reacção ao fogo.
- [35] Directiva 89/106/CE relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-membros no que respeita aos produtos de construção.
- [36]
- [37] Despacho n.º2074/2009 – Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada.
- [38] WEBER – Manual técnico de alvenaria Leca.
- [39] Cerâmica Vale da Gândara. Ficha técnica para peças de argila cozida. (Tijolos cerâmicos maciços).
- [40] Cerâmica Vale da Gândara. Ficha técnica para peças de argila cozida. Tijolos Cerâmicos com Furação Vertical (Tijolos Cerâmicos Cara Vista Clinker/Gres).
- [41] PRECERAM- Industrias de construção S.A. Ficha técnica para tijolos cerâmicos e furação vertical.
- [42] PRECERAM- Industrias de construção S.A. Ficha técnica para tijolos cerâmicos e furação horizontal.
- [43] SPRAL – Sociedade de Pré-Esforçados de Aveiro Lda . Ficha técnica do produto, Bloco Resistente (maciço).

- [44] SPRAL – Sociedade de Pré-Esforçados de Aveiro Lda . Ficha tecnica do produto, Bloco Resistente.
- [45] SPRAL – Sociedade de Pré-Esforçados de Aveiro Lda . Ficha tecnica do produto, Bloco Leve.
- [46] Pladur - Uralita. Sistemas Pladur, Resumo de características técnicas.
- [47] British Gypsum. The Fire Book – Passive Fire Protection Solutions.
- [48] Gyptec Ibérica – Catalogo de gesso laminado.
- [49] Silva, L.R. (2007). Análise técnico/financeira de paredes exteriores em panos simples. Instituto superior técnico de Lisboa.
- [50] <http://http-server.carleton.ca/~ghadjiso/82579/Fire%20Severity%20-%205.pdf>
- [51] <http://www.sercevolucao.com/>
- [52] Technical Notes on brick construction nº16, Fire resistance of brick masonry. The brick industry association
- [53] Primo, V.M. Segurança Contra Incêndios Em Edifícios. Universidade Lusófona do Porto.

